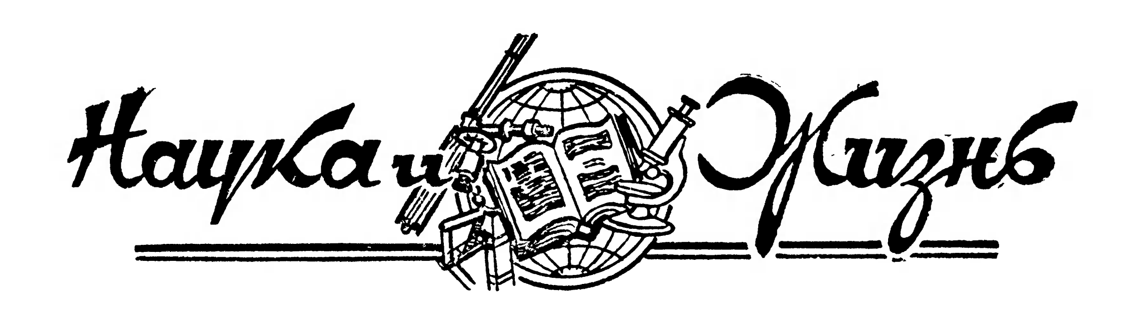


Журнал для самообразования

Содержание



НАШИ МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ

Лауреат Сталинской премии 1942 г., заслуж. деятель науки,
проф. А. В. Вишневский

В науке и жизни мы обычно встречаемся с двумя формами новых предложений или открытий. Одни из них касаются того или иного частного случая, другие являются в виде общей системы, из которой вытекает решение многих разнообразных, иногда очень значительных, вопросов. В медицине примером первого типа открытий, сделанных в последнее время, является, например, инсулин как средство лечения сахарной болезни. Здесь все ясно: болезнь и средство для ее лечения. Такие предложения легко понимаются и принимаются. Совсем другое дело, когда речь идет о широкой системе, объединяющей в существе своем много предметов. Здесь все оказывается более сложным.

Нам хотелось бы рассказать о той системе, с которой связаны наши предложения лечения некоторых заболеваний и травматических повреждений. Что это за система? Откуда она взялась?

Эта система возникла в результате длительной работы по местному обезболиванию, когда долго изучаемый нами предмет превратился в метод изучения других предметов, именно, процессов заживления ран, воспалительных заболеваний и пр.

Произошло это следующим образом. Применяя местное обезболивание, мы обратили внимание на то обстоятельство, что в некоторых случаях операционная рана заживает не совсем удовлетворительно. Это касается обычно самых поверхностных слоев, главным образом, кожи. Такие недочеты в заживлении раны замечались и другими авторами и описывались в русской и иностранной литературе даже как серьезные осложнения после применения местного обезболивания. Природа их оставалась невыясненной. Мы их истолковали как местные тканевые расстройства, возникающие в результате „сильного раздражения“ нервов раны. Они наблюдались там, где имело место перерастяжение вспрыскиваемым раствором неподатливых тканей (кожа, десны и пр.), где употреблялся почему-либо холодный раствор, где он имел высокую концентрацию солей, где самая техника введения его была груба и т. д. Во всех этих случаях каждый из указанных моментов мог рассматриваться как раздражитель для тканей, в которые он вводился; сумма же их должна была сказаться как „сильное раздражение“.

Известно, что нервная система сильных раздражений не выносит и отвечает на них тем или иным нарушением обмена веществ. Чрезмерно сильное раздражение, например, может вызвать даже шок — явление с очень сложным и глубоким расстройством обмена веществ общего характера. В наших наблюдениях мы имели дело с легким отеком, краснотой, иногда с поверхностным омертве-

нием краев раны. Эту отрицательную реакцию мы и связали с изменением состояния нервов под влиянием „сильного раздражения,“ считая, что состояние нерва определяет состояние ткани, ее обмен, ее „трофику“. Так на этот вопрос смотрят многие ученые (Павлов, Орбели, Сперанский и др.). Следовательно, мы имели перед собой местное тканевое расстройство, так сказать, местный шок тканей. Эти осложнения, кстати говоря, бесследно исчезли, как только были устранены указанные неблагоприятные моменты.

Дальше мы отметили, что в тех случаях, когда при воспалительных процессах применялось местное обезболивание, эти процессы протекали более благоприятно. Это обстоятельство опровергало общепринятый взгляд, будто пропитывание тканей обезболивающим раствором содействует дальнейшему распространению инфекции и, значит, ухудшает течение воспалительного процесса, ибо здесь имеет место проталкивание микробов в соседние участки тканей. Этот ошибочный взгляд был прочно установлен в науке, и опровергать его было очень трудно. Наши многолетние наблюдения позволили нам это сделать. Мы предположили, что и здесь наш результат связан с чисто нервными влияниями. Раствор, не обладающий противомикробными свойствами, мог менять состояние нервов, которые в очаге воспаления всегда сильно раздражены. Уменьшение этого раздражения должно было, очевидно, вести к улучшению обмена веществ в воспалительном очаге, к улучшению жизнедеятельности тканей и их устойчивости, вследствие чего и процесс идет более благоприятно.

Наряду с этими фактами у нас имелись и другие. Мы делаем операцию водянки яичка. Заболевание спокойное, протекает без болей. Ясно, что нервы при нем не раздражены. Если мы теперь для дренирования операционной раны воспользуемся бальзамическим дренажем, с которым делаем всю гнойную хирургию, то в ответ на это получим значительный отек тканей в области операции и совершенно необычное истечение лимфы, словом, то, что расстраивает послеоперационное течение раны. Ничего подобного не происходит, когда мы обрабатываем таким же образом гнойный процесс в этой области.

То же самое происходит, если мы хоть на одну минуту подвергнем такой обработке не затронутую воспалительным процессом плевру или плевру, слабо измененную вялым хроническим воспалительным процессом. Она ответит не только теми же изменениями (отрицательная трофическая реакция) на месте, но и в общем состоянии больного получатся тяжелые расстройства, до шока включительно. Напротив, при гнойных процессах в легких и плевре эта процедура представляет собой исключительный метод лечения. Предельно истощенные больные переносят ее совершенно легко. Пропитанные бальзамической эмульсией компрессы, выполняющие полость после опорожнения гноя, могут лежать в ней безнаказанно до месяца. Ясно, что не раздраженные болезненным процессом нервы воспринимали нашу процедуру, как „сильное“ раздражение, а раздраженные—как „слабое“, — оно и было полезным.

Мы подошли, таким образом, к гипотезе „слабого раздражения“, как лечебного фактора. Конечно, понятие „слабого“ раздражения является условным, характеризующимся исходным состоянием нерва. Мы видели, что один и тот же раздражитель может быть и „слабым“ и „сильным“, очевидно, в зависимости от того состояния, в каком находился нерв. Гипотеза „слабого раздражения“ заставила нас искать путей через нервную систему к другим широким и ответственным системам. Здесь и наметился наш синтез местного обезболивания и лечения воспалительных процессов и ран.

Факты приводили нас уже к более общему выводу, что живой организм на всякое воздействие отвечает первичной нервной реакцией, в зависимости от которой меняется в последующих сложных взаимодействиях состояние как тканей, так и жидкой среды организма. Это представление привело нас к общей проблеме „нервизма“, т. е. того направления в науке, которое стремится объяснить протекающие в организме сложные процессы с точки зрения руководящего участия в них нервных механизмов.

В связи с этим перед нами встал вопрос о необходимости более детального изучения лечебного действия местного обезболивания. Вопрос этот в какой-то форме вставал уже в науке лет 40 тому назад, но он не получил своего развития, вероятно, потому, что автор, поднявший его, не дал для этого надлежащего метода. Наука же без метода развиваться не может.

В нашем распоряжении имелся готовый метод для изучения этого вопроса. Он вытекал из того способа обезболивания, который мы разрабатывали. Мы и предложили его для этой цели, назвав его „новокаиновой блокадой“ — поясничной, шейной, футлярной на конечностях и др. Он состоит в том, что в ткани к местам наибольшего скопления нервных элементов (в особенности симпатических) вводится посредством шприца обезболивающий раствор, который омывает их и, в силу особого сродства к ним, входит с ними в соединение. Это вызывает изменение в нервах, воспринимающих наше воздействие, как новое „раздражение“ по отношению к существовавшему ранее в месте заболевания.

Почему „раздражение“? Так называл со-

стояние наркоза нерва один из исследователей (Введенский)[1], который рассматривал анэстезию нерва, как пассивный процесс. Нервная система отвечает на это раздражение в целом, во всей своей сложной сети или, как говорят, в общей регуляторной функции. Раздражение это по известным законам нервной системы особенно отмечается в местах наибольшей чувствительности нервов, т. е. у болезненного очага (закон доминанты). Здесь и происходят изменения в нервах. Согласно исследованиям Введенского, различные участки нервов, находящихся в раздражении, различно воспринимают новое раздражение. Участки нерва, находящегося в состоянии сильного раздражения, приходят к так называемому парабиозу, т. е., получая новое раздражение, они углубляют его вплоть до отмирания. Участки же нерва, находящиеся в слабом раздражении, воспринимают новое раздражение, как антипарабиотический фактор, т. е. в этих случаях нерв оправляется, выздоравливает, а вместе с ним оправляется и ткань. Эти данные были проверены нашим сотрудником д-ром С. П. Протопоповым в лаборатории проф. П. К. Анохина.

Что же мы получаем, применяя новокаинизацию?

Когда мы производим ее в начале развития процесса, т. е. тогда, когда дело до нагноения еще не доходило, когда существовал только отек тканей, их серозное пропитывание, то процесс можно было оборвать. Переводя это на язык нашей трактовки изменения состояния нерва по Введенскому, мы должны объяснить наши факты тем, что в этом случае нервы являются еще слабо раздраженными и новое слабое раздражение действует на них, как фактор антипарабиотического значения. Там же, где дело подходит или дошло до нагноения, — там нервы были сильно раздражены и новое слабое раздражение приводит их к парабиозу и некрозу (омертвлению). Этим и определяется состояние очага, как гнойного фокуса.

Основные моменты в изменении состояния нерва и ткани и объясняют наши положения о влиянии новокаинизации на воспалительный процесс.

Одно из них гласит: воспалительный процесс при новокаинизации можно привести к выявлению, ограничению и разрешению. На языке нашей трактовки это будет означать, что, по мере приближения к болезненному очагу, восстановление нерва прекращается и он подходит к парабиозу. Здесь и произойдет выявление, ограничение и разрешение воспалительного процесса (некроз ткани).

Если в воспалительном процессе новокаинизация приводила к изменениям тканевого и гуморального[1] характера в очаге, т. е. к изменениям так называемого трофического порядка, то при болезнях, характеризующихся расстройствами чисто функционального свойства, она и влияла только на это функциональное состояние. Здесь мы встретились с весьма любопытным фактом, имеющим снова большое практическое значение. Мы применяли новокаиновый блок при патологических изменениях тонуса (напряжения) различных органов. Оказалось, что воспринятое нервной системой наше раздражение действовало на нее таким образом, что она выводила орган из извращенного тонуса (кишки, матки и пр.). Это свойство нервной системы (вегетативной) — отвечать на раздражение эффектом противоположного характера по отношению к тому состоянию, в каком раньше находился орган, — обобщено одним из исследователей в так называемый „закон исходной величины“ (Вильдер). Понятно, что при построении нашего метода терапии оно было нами учтено и весьма существенно помогло нам.

Положение, которое мы установили, изучая динамику воспалительного процесса при действии новокаинизации, как „слабого раздражения“ нервной системы, мы почти полностью перенесли и на лечение ран, считая, что воспаление и раны — по существу одно и то же.

При построении нашего метода лечения инфицированных ран мы также исходили из учета нервного фактора в раневом процессе как момента, регулирующего жизнедеятельность тканей в нем. Мы стремились разработать такой метод лечения ран, который объединял бы в себе благоприятное трофическое действие с высоким бактерицидным[2] эффектом. По нашему мнению, масляные антисептики — жидкие бальзамические мази, — наряду с бактерицидным действием, производят и местное благоприятное воздействие на нервные элементы, а через них — на обмен веществ в очаге поражения. Они снижают сильное раздражение, какое испытывает рана как со стороны микробов, которые ими убиваются, так и со стороны других факторов (травма, воздух и пр.), от которых они защищают рану. Повторяем, мы подошли к своеобразному синтезу двух внешне совершенно различных предметов — новокаинизации и бальзамической повязки, в основе действия которых лежит, однако, объединяющий их момент — воздействие на нервную систему.

---

[1] „Наркоз нерва есть седалище своеобразного возбуждения“.

[1] Гуморальный (от латинского слова humor — жидкость) — относящийся к жидким средам организма.

[2] Бактерицидный — убивающий бактерий.

Идея масляноантисептической, или бальзамической, повязки не является новой. Она существовала в веках. Однако, до сих пор она не завоевала своего признания. Появляясь в различные моменты на протяжении всей истории медицины, она обычно угасала с тем, чтобы вновь встать и вновь через некоторое время погаснуть. На ней не раз споткнулись величайшие авторитеты медицины.

Чем объяснить такое положение вещей? Мы объясняем его тем, что никогда эта идея не была преподана в виде строго обоснованной принципиальной системы, которая обеспечивала бы правильное пользование ею в разнообразных случаях большого и сложного вопроса о лечении ран. Успех ее всегда был чисто случайным, и за ним следовала неудача. Причины того и другого исхода оставались неясными, непонятными.

Наша школа выступила с предложением пользоваться при лечении ран масляными антисептиками, — иногда в связи с новокаинизацией, — как новой системой, принципиально обоснованной учетом иннервационных механизмов в воспалении и раневом процессе. Эта система и дала нам те результаты, которые оставляют далеко позади все то, что было получено до сих пор с бальзамической повязкой.

К каким же новым фактам привела нас эта система?

Первым фактом, имеющим большое общее значение, является возможность остановить и повернуть назад начавшую развиваться инфекцию, если она еще не вышла из стадии серозного пропитывания тканей, т. е. не дошла еще до нагноения.

Вторым крупнейшим фактом оказалась возможность после надлежащей очистки гнойной полости и дальнейшей ее обработки нашим методом остановить разрушительную стадию воспалительного процесса, вследствие чего гнойная полость, а следовательно и рана, перестают отделять гной.

Третьим фактом является возможность влиять на течение хронически воспалительных осложнений и свежих инфильтративных форм их, поддерживаемых затяжной вялой инфекцией.

Наконец, четвертым фактом оказалась возможность изменить патологический тонус органа.

Обобщение каждого из указанных и добытых нами фактов подводит нас к разрешению в клинике очень большого количества вопросов. Ясно, что положение, вытекающее из первого факта, должно быть использовано в направлении профилактики развития воспалительного процесса, а, следовательно, в профилактике развития инфекции раны. Второй факт указывает путь лечения уже существующего нагноения. Третий связан с борьбой на поздних сроках с различными осложнениями в виде остаточных воспалительных явлений и заметных функциональных расстройств органов в связи с ними. Четвертый служит руководством к борьбе с извращенным тонусом.

Иллюстрируем каждое из этих положений примерами.

К нам является человек, получивший укол пальца руки при вскрытии трупа. У него развивается так называемое трупное заражение: тяжелое общее состояние, рвущие боли в руке, полосы лимфангоита, увеличение железы под мышкой, высокая температура. Он получает новокаинизацию конечности (футлярный блок) и широкий масляно-бальзамический компресс на всю руку. Начавшая развиваться тяжелая инфекция обрывается, на пятый день у места укола выпадает без всякой боли кусочек омертвевшей ткани. Это—типичный пример подтверждения нашего положения о выявлении, ограничении и разрешении воспалительного процесса.

Другой случай: мы видим девушку с юношеской формой сахарной болезни. Здесь в судьбе больного обычно фатальную роль играет присоединяющаяся в какой-либо момент та или иная гнойная инфекция. Обычно от нее больной и погибает. У нашей больной внезапно разыгралось острое воспаление щитовидной железы. Все было мобилизовано для спасения жизни больной. В консультации посменно приняли участие 17 лучших врачей столицы. Состояние больной ухудшалось с каждым часом. Она перестала глотать, потеряла голос, температура не спадала, отек железы нарастал. В ночь на следующий день после начала заболевания больной был сделан новокаиновый блок, а на утро больная сидела, принимала пищу, температура снизилась, появился голос и пр. Опасность миновала, и больная окончательно оправилась от присоединившегося заболевания.

Так разрешались в начале своего развития воспалительные заболевания грудной железы, вен, острый отек гортани, нередко требующий трахеотомии, воспалительный отек под гипсовой повязкой, укусы змей и других ядовитых животных и пр.

Перед нами раненый с огнестрельным повреждением коленного сустава, осложненным тяжелым нагноением на нем. Мы вскрываем сустав, тщательно освобождаем его от гноя, удаляем, если нужно, поврежденные концы костей, с особым вниманием обрабатываем так называемый заворот сустава, протираем его спиртом и тампонируем марлей, пропитанной бальзамической жидкой мазью. Эта тампонада производится под контролем пальца, который должен помочь выстлать все

контуры полости так, как это делается при пломбировке. После этого сустав перестает отделять гной, т. е. разрушительная стадия воспалительного процесса в нем прекращается. Это происходит при обработке и других гнойных полостей и ран (нагноение в грудной железе, плевре, костном мозге и пр.). Но это не случится, если раневая полость не была чисто обработана, если в нее продолжает поступать гной из не затронутых обработкой щелей, карманов, скрытых очагов и пр.

К нам является больной с не заживающим в течение многих месяцев переломом костей. Обследовавшая его в госпитале комиссия собиралась уже дать заключение, что он подвергся всевозможным способам лечения и в конце концов перенес хирургическую операцию без результата. Мы предлагаем комиссии воздержаться от заключения и подвергнуть его лечению по нашему методу. Больному была наложена длительная несменяемая маслянобальзамическая повязка и сделан футлярный блок конечности. Через три недели наступило полное срастание перелома.

Приведем, наконец, примеры в отношении патологического тонуса. К нам доставляют больного с кишечной непроходимостью. В некоторых случаях отличить механическую непроходимость (наличие механического препятствия) от динамической, зависящей от спазма или расслабления кишечной мускулатуры, — невозможно. Новокаиновый блок разрешает вопрос в течение ближайшего часа, избавляя больного, таким образом, от напрасной операции.

Другой пример. У больной затянувшиеся роды. Акушерство нашло в новокаиновом блоке мощный метод возбуждения родовой деятельности (Гофман) в патологических случаях затянувшихся родов. Это особенно интересно и важно, потому что все известные до сих пор фармакологические, гормональные средства и вегетативные (растительные) яды при своем практическом применении показали полную бездейственность в отношении возбуждения отсутствующей родовой деятельности.

К нам доставили партию раненых, долго имевших неподвижные гипсовые повязки. По снятии их оказалось, что у многих из них развилась тяжелая тугоподвижность суставов. Футлярный новокаиновый блок в большом количестве случаев устраняет ее. Это же мы наблюдаем и при сведениях кисти и пальцев в результате бывшего воспалительного процесса.

Большое практическое значение новокаиновый блок приобретает при различных шоковых состояниях. При ранениях конечностей футлярный блок предупреждает наступление шока, обычно появляющегося по снятии жгута. Ваго-симпатический блок на шее предупреждает и устраняет шок, наступающий при повреждениях органов груди, и, наконец, поясничный блок разрешает шок, наступающий после переливания крови и повторных введений в организм сывороток.

Обобщение указанных примеров должно вести к понятным выводам во всей области лечения воспалительных заболеваний, ран, болезней с расстройством тонуса и шоковых состояний. Это дало нам возможность предложить отдельные методы лечения различных заболеваний: карбункула, мастита, плеврита, остеомиэлита, самопроизвольной гангрены и пр.

Посмотрим дальше, как развивается наша система, в частности, в вопросе о лечении ран. Наш масляный антисептик сам по себе еще не разрешает этого вопроса в целом. В последнее время, например, в отношении лечения ожогов принято было считать, что их нельзя лечить мазевыми повязками. Это — совершенно правильное положение, ибо лечение их в той форме, как оно производилось этим способом во всем мире, представляет собой сплошной ужас. Сегодня кладется мазевая повязка, а завтра, со страшными мучениями для больного, она сдирается. В нашей системе лечения ожогов той же масляной эмульсией мы не видим никаких страданий больных до конца их лечения. Почему такая разница?

Пропитанный эмульсией компресс в три — четыре слоя марли укрывает всю обожженную поверхность и никогда не снимается. Он сам отходит постепенно с краев, где и срезывается свободно, по мере наступления эпителизации, т. е. заживления. Время от времени компресс снаружи смачивается той же эмульсией. Одного этого примера достаточно, чтобы понять наши первые строки о судьбах мазевой повязки в истории медицины.

Очень парадоксально звучит наш лозунг — при отморожениях, как и во многих других случаях, главное внимание лечебного воздействия направлять не столько на пострадавший участок ткани, сколько на соседние неповрежденные отделы, например, на здоровую кожу. Этот принцип красной нитью проходит через всю нашу систему, ибо он связан с нашими теоретическими представлениями о возможности действовать на ткань, усиливая ее восстановительные процессы, через нервную систему. Кожа заключает в себе огромный и разнообразный воспринимающий (рецепторный) аппарат. Раздражение ее передается на следующие отделы нервной системы и вызывает изменение жизнедеятельности той ткани, в которой главным образом и происходят регенеративные (вос-

становительные) процессы, так называемая мезенхима. Это положение доказано нашей школой и экспериментально: у кролика, имевшего длительную дегтярноантисептическую повязку на побритом брюшке, наблюдаются резкие сдвиги в состоянии мезенхимы во всем организме. Вышеприведенный пример заживления несрастающегося перелома кости может быть одним из подтверждений данного положения. Таких и подобных им примеров в нашем материале имеется сколько угодно.

Все это показывает, что здесь результаты, полученные нами, зависят не только от масляных антисептиков, на которых мы остановились, как на средстве лечения ран, но и от той системы, того метода, в каком они используются.

Так мы это дело и представляли с самого начала. В одном случае — тампон-пломба лежит в полости от 5—7 дней до месяца, в другом — пропитанная эмульсией марля, выполняя роль активного дренажа раны, меняется ежедневно (газовая инфекция, случаи вторичных кровотечений и пр.), в третьем — компресс, покрывающий пораженную область, присыхает к ней и остается на месте до конца заживления, в четвертом — он кладется широко на здоровую кожу и, наконец, чистая неинфицированная рана вообще не должна обрабатываться бальзамическим дренажем, если бы даже она и дренировалась, так как в невоспаленной ткани такой дренаж вызывает отрицательную трофическую реакцию (отек, чрезмерную гиперемию и пр.).

Каждый из этих моментов обусловлен не только борьбой с инфекцией ран, но и стремлением поддержать повышенную жизнедеятельность тканей, т. е. их устойчивость, ибо он связан с учетом нервного фактора в раневом процессе.

Изучив в своей системе разнообразные бальзамические вещества, начиная от бальзама Перу, и произведя им сравнительную оценку, мы в окончательном оформлении своего метода остановились на дегтярно-масляной антисептической повязке, удержав за ней название „бальзамической“ лишь по истории ее развития в нашей работе. Такая повязка и оказалась для массового лечения ран наиболее практичной: она прежде всего обезболивает рану, предупреждает вторичную инфекцию в ней, редко меняется, не присыхает, не издает дурного запаха, препятствует развитию паразитов, ускоряет заживление раны и т. д. Обладая свойствами любой бальзамической повязки, она связана с самыми простыми составными частями в ее действующей прописи. Она дешева и поэтому реальна.

Французские хирурги при лечении газовой инфекции стрептоцидом имели на 69 больных 12 смертей и 28 ампутаций. В нашем методе лечения газовой инфекции в эвакогоспиталях прошлой финляндской кампании мы имели на 130 больных 3% смертности и 3% ампутаций. Эти цифры говорят сами за себя.

Вопрос о лечении ран, очевидно, разрешается не тем или иным частным средством, предлагаемым для этого, а всей системой в целом. Такая система должна быть правильно обоснована с принципиальной стороны.

Наша система лечения ран основана на учете нервного фактора в раневом процессе. Она часто и выходит, поэтому, далеко за пределы непосредственного воздействия на рану, к различным ее осложнениям (шок, отек под гипсом, сведение суставов и пр.). Она возникла из синтеза местного обезболивания и лечения воспаления и привела нас к созданию отдельных методов лечения воспалительных заболеваний, ран и болезней с расстройством тонуса.

Извлечение золота из МОРСКОЙ ВОДЫ

Как известно, в морской воде растворено довольно много золота. Цена золота, растворенного в одной кубической миле морской воды, достигает 5 млн. фунтов стерлингов. Выделить это золото из воды можно обычными электрохимическими методами (электролиз), но стоимость подобного процесса в пять раз превосходит стоимость выделяемого золота. Как показало исследование вопроса, проведенное д-ром К. Финком (Колумбийский университет США), нерентабельность выделения золота из воды объясняется следующим образом. При электролизе золото, так же как и другие металлы, выделяется на катоде. Однако, как оказывается, прежде чем отложиться на электроде, золото образует мельчайшие коллоидные частицы, которые в основном к катоду не прилипают, а остаются взвешенными в воде или осыпаются с катода. Если вместо неподвижного катода применить вращающийся, то удается осадить значительно больше золота, что и было сделано Финком. Правда, дополнительные затраты, связанные с вращением катода, делают пока что выделение золота из воды невыгодным и по методу Финка. Тем не менее, применение вращающегося катода представляет большой шаг вперед в технике электролиза, и, по-видимому, найдет применение не только для выделения золота, но, например, и для покрытия металлических изделий титаном и ванадием.

Nature, London, август 1941 г.

ВИТАМИНЫ

Проф. В. Н. Букин

В настоящее время все уже хорошо знают, что помимо основных частей — жиров, углеводов, белков, минеральных солей — пища должна содержать ничтожные количества особых веществ, отсутствие которых вызывает ряд тяжелых расстройств и заболеваний. Эти вещества получили название в и т а м и н о в. Если жиры и углеводы нужны для получения тепла и энергии, белковые вещества — для построения тканей тела, минеральные соли — для построения скелета, то витамины в организме человека и животных являются как бы химическими ускорителями и регуляторами важнейших, непрерывно протекающих химических реакций.

Человеку в день нужна всего одна двадцатая доля грамма всех известных витаминов, или около одной десятитысячной части от суммы белков, жиров и углеводов. Тем не менее, роль витаминов в питании чрезвычайно важна. При отсутствии витаминов не происходит правильного использования пищи, нарушается обмен веществ, и в конце концов возникают такие серьезные заболевания, как цынга, рахит, куриная слепота и др.

Случаи полного отсутствия витаминов в обычных условиях питания крайне редки. Гораздо большее практическое значение имеют те явления, которые возникают не при полном отсутствии, а при частичном недостатке витаминов. При этом не наступает еще явных признаков заболевания, но недостаток витаминов приводит к упадку сил, общей подавленности, понижению работоспособности, к снижению сопротивляемости организма инфекциям.

Витаминов существует много. В настоящее время насчитывается до 18 отдельных представителей их. Все они вырабатываются растениями, и человек получает их либо непосредственно от растений, либо косвенно, через животные продукты, в которых они были уже предварительно накоплены другими организмами из растительной пищи. Наиболее важными для человека витаминами являются четыре — A, B_1, D и C.

В и т а м и н А — витамин роста. При его отсутствии останавливается рост и развитие молодых животных и детей, и вслед за этим наступает падение веса и появление заболевания глаз, известного под названием ксерофтальмии. Это заболевание, если во-время не дать ребенку витамина, ведет к слепоте.

Витамин А чрезвычайно важен также для поддержания в здоровом состоянии кожных покровов и слизистых оболочек. При недостатке витамина А происходит перерождение эпителиальных клеток и их ороговение. Наблюдается ненормальная сухость и грубость кожных покровов и слизистых оболочек. Появляются трещины, через которые легко проникают в организм микробы, вызывающие различного рода инфекции. Особенно опасен недостаток витамина А для людей таких профессий, в которых труд связан с хронической травмой слизистых оболочек дыхательных путей — мукомолов, каменщиков, шахтеров.

Наконец, витамин А необходим для поддержания должной остроты зрения. Механизм его действия в этом случае детально выяснен. Оказалось, что витамин А входит в состав зрительного пурпура, назначение которого заключается в повышении чувствительности зрительных элементов глаза к свету. При этом зрительный пурпур, будучи светочувствительным веществом, не просто повышает чувствительность глаза к свету, а замечательным образом автоматически регулирует ее: разлагаясь на ярком свету на молекулу витамина А и молекулу белка, он утрачивает сенсибилизирующую способность и сетчатка становится менее чувствительной к свету. Наоборот, в темноте зрительный пурпур снова регенерируется из указанных элементов и выступает как фотосенсибилизатор. Эти превращения зрительного пурпура — распад на свету и регенерация в темноте — лежат в основе весьма важного для нормального зрения явления а д а п т а ц и и, т. е. приспособления глаза к различной яркости освещения. При недостатке витамина А процесс регенерации пурпура замедляется, острота зрения снижается, и в конечном счете наступает куриная слепота, т. е. полная не-

способность видеть при слабом освещении, в сумерках. Естественно поэтому, что витамин А особенно необходим для людей тех профессий, в которых труд связан с изменяющимися условиями освещения, — для летчиков, шоферов и др. Интересно, что по статистическим данным, разработанным в США, частота автомобильных катастроф находится в прямой связи со степенью насыщенности организма водителей машин этим витамином.

Источниками витамина А могут служить животные и растительные продукты. В растениях витамин А присутствует в виде провитамина — вещества оранжевой окраски, называемого каротином. Именно от него зависит окраска ряда плодов и овощей, в частности, моркови, абрикосов. Каротин в животном организме расщепляется и дает витамин А. Поэтому в таких продуктах как печень рогатого скота, яичный желток, молоко, масло находится готовый витамин А и при том в бо́льших или ме́ньших количествах, в зависимости от степени обеспеченности питания животных каротином. Летом указанные продукты богаты витамином А, в то время как зимой, когда в рационе животных мало зеленых кормов, они бедны этим витамином. Больше всего витамина А содержится в печеночном жире рыб, который издавна применяется в качестве целебного средства.

Особенно необходимо обратить внимание на использование в качестве источников витамина А (каротина) листовых овощей. У нас еще мало распространено потребление таких овощей, как шпинат, салат, щавель, зеленый лук, молодые листья свеклы, укроп и др. Существует даже некоторое пренебрежительное отношение к подобного рода овощам. Между тем это совершенно неверно. Листовые овощи чрезвычайно полезны, так как они содержат большое количество каротина, в полтора — два раза больше, чем морковь или абрикосы. Шпинат и салат, например, превосходят по своему действию в качестве источников витамина А лучшие сорта летнего, особо богатого этим витамином сливочного масла. Тридцати — сорока граммов салата или шпината достаточно, чтобы покрыть дневную потребность взрослого человека в витамине А.

В и т а м и н D регулирует правильный обмен солей кальция и фосфора. Без него расстраивается нормальное костеобразование и появляется рахит. У взрослых наблюдается хрупкость костей и трудное заживление костных переломов. Растения снабжают нас провитамином — так называемым эргостерином, который при освещении кожи ярким солнцем превращается в витамин D и отсюда разносится по всему телу. В зимний период витамин D приходится вводить в организм в виде препаратов облученного эргостерина. Такие препараты изготовляются на витаминных заводах Наркомпищепрома и продаются в аптеках под названием витамин D. Применение этих препаратов для детей всех возрастов в зимнее время является обязательным, но оно должно производиться под наблюдением врачей. Вместо препаратов можно употреблять рыбий жир, особенно витаминизированный добавкой облученного эргостерина. В других животных продуктах витамина D очень мало, а в растительных продуктах готового витамина D совсем нет.

В и т а м и н B_1 имеет большое значение для поддержания правильного обмена углеводородов. При его отсутствии происходит расстройство нервной и сердечной деятельности. Даже небольшой недостаток этого витамина сказывается в быстрой утомляемости и медленном исчезновении чувства усталости, особенно после физической работы. При длительном недостатке витамина возникает заболевание, называемое бери-бери (полиневрит).

Механизм действия этого витамина заключается в том, что в его отсутствии не происходит удаление из организма промежуточного продукта окисления углеводов — пировиноградной кислоты. Накопление кислоты отравляюще действует на организм и в первую очередь на нервную систему, мозг и мышцу сердца. Естественно, что обогащенные витамином B_1 продукты особенно необходимы для лиц, занятых работой, требующей большого физического и нервного напряжения.

Главным источником этого витамина являются растительные продукты, в животных продуктах его гораздо меньше. Из растительных продуктов основным поставщиком витамина B_1 являются семена злаков. Если мы не получим этот витамин из зерновых продуктов, то пополнить его недостаток за счет других пищевых средств будет трудно. Вопрос осложняется также тем, что витамин B_1 содержится главным образом в наружных оболочках и зародыше семян, т. е. в тех частях, которые обычно удаляются при обработке. Поэтому перловая крупа, полированный рис, макароны и многие другие мучнистые продукты не содержат витамина B_1.

Хлеб из очищенных сортов муки является очень питательным и вкусным, но он беден витаминами. Поэтому часть хлеба мы должны потреблять из муки грубого помола. Данные показывают, что для удовлетворения дневной потребности в витамине B_1 достаточно 250—270 г хлеба из цельной пшеничной муки, в то время как хлеба из пшеничной муки 75% помола требуется 1,5 кг, а при более высоких сортах — еще более.

Рожь содержит несколько меньше витамина B_1, чем пшеница, но за то этот витамин распределен более равномерно по всему

зерну. Поэтому ржаного хлеба из цельной муки надо потреблять в день 400 г, а из ржаной муки 75%-помола — 600 г. В качестве дополнительных источников витамина B_1 имеют значение горох, фасоль, чечевица и лишь отчасти овощи, молоко, мясо.

Витамин С является очень важным участником процесса обмена веществ в организме. Его недостаток приводит не только к ряду нарушений обмена, но как следствие этого к резкому упадку сил, понижению работоспособности, общей подавленности, к снижению сопротивляемости организма инфекциям. Если недостаток витамина не устранить, то наступает цынга.

Почти единственным источником этого витамина являются растительные продукты, животные продукты содержат его очень мало. Из растительных продуктов главными поставщиками витамина С служат свежие овощи, плоды и ягоды. Консервированные продукты только в том случае имеют значение, если они изготовляются не в медной аппаратуре и с соблюдением определенных требований (поточность и быстрота процесса). Сушеные овощи, как правило, лишены витамина С. При обычной кулинарной обработке овощей теряется примерно одна треть имевшегося в них витамина С, если овощи употребляются в свежесваренном виде. В овощных блюдах, изготовленных задолго до еды, эти потери будут значительно больше.

Наибольшее значение из плодов, ягод и овощей в практических условиях питания имеют значение в качестве источников витамина С капуста и картофель, отчасти томаты, брюква, листовые овощи, цитрусовые плоды, черная смородина.

В условиях военного времени внимание к витаминам должно быть усилено по ряду обстоятельств. Во-первых, война связана с концентрацией массы людей в определенных районах — на фронте, в прифронтовой полосе, на строительных работах и т. д. Благодаря этому возрастает опасность таких массовых инфекционных заболеваний, как грипп, воспаление легких и др. Наилучшим способом предупреждения их является повышенное потребление витаминов. Усиленное витаминное питание важно также с точки зрения облегчения условий труда при низких температурах, при большом физическом и нервном напряжении, для скорейшего восстановления сил после ранений и всякого рода заболеваний.

Вместе с тем, нельзя забывать, что загруженность транспорта военными перевозками может привести к перебоям с доставкой тех или иных пищевых продуктов. В особенности это касается населения городов, расположенных в пределах прифронтовой полосы. На первый взгляд кажется вполне возможным заменить в таких случаях мясо — рыбой животные жиры — растительными, крупы — мучными изделиями, свежие овощи—сушеными, полагая, что питательность их с точки зрения калорийности одинакова. Между тем, здесь иногда упускается из виду неравноценность витаминного состава этих продуктов, и питание, таким образом, становится недостаточным в отношении содержания отдельных витаминов.

В условиях, когда фронт и тыл едины и крепость тыла является залогом успехов на фронте, нельзя допустить беспечности в таких вопросах, как охрана здоровья населения. Пополнить свой рацион витамином С и тем предупредить цынгу можно в любых условиях. Для этого достаточно лишь знать простейшие способы получения витамина С из доступных материалов. Такие способы разработаны нашими советскими учеными, в частности Институтом биохимии Академии Наук СССР. К изложению двух таких способов мы сейчас и перейдем.

Первый из этих способов основан на замечательной способности семян быстро накоплять витамин С при прорастании. В сухих семенах нет витамина С, но он быстро появляется при прорастании. Достаточно для этого семена гороха, чечевицы, ржи или пшеницы намочить в теплой воде в течение 5—6 часов, затем положить набухшие зерна слоем в два—три сантиметра на дно какого-либо сосуда (лучше всего плетеной корзины) на материю, смоченную водой. Сверху семена надо покрыть влажной материей и поставить сосуд в теплое место. Верхний слой материи нужно поддерживать во влажном состоянии. В темноте прорастание семян происходит быстрее. Через 2—3 дня зерна дают ростки; когда последние достигнут длины в 2—3 см, проросшие семена готовы к употреблению. Их надо промыть водой и перед самой едой приготовить из них салат или пюре, с добавкой обычных приправ. Достаточная доза витамина С находится в 50—60 г таких семян. Этим способом легко воспользоваться, чтобы быстро получить витамин С в необходимых количествах. Недаром этим удобным средством получения свежей растительной пищи с успехом пользовался, например, экипаж „Седова".

Второй, еще более простой способ получения витамина С основан на использовании хвои древесных пород. Хвойные иглы обладают свойством накоплять поразительно большие количества витамина С, особенно в зимнее время. В хвое сосны и ели средней и северной полосы Союза содержание витамина С зимой оказалось, по крайней мере, раз в 5 больше, чем в лимонах. Интересно, что еще в средние века было известно целебное действие хвойных игл при цынге.

Как часто бывает, в истории науки, современные исследования дали лишь научное обоснование тому приему, к которому интуитивно давно пришла народная мудрость.

Отличительным свойством хвойных игл является также то, что витамин С в них обладает высокой устойчивостью. Зимой хвойные иглы можно держать под снегом или в сарае до двух месяцев без заметной потери витамина, в комнатных условиях витамин сохраняется в течение 5—10 дней, но в этом случае нижние концы веток лучше опустить в воду. Нельзя хранить лишь отделенные от веток хвойные иглы, их тотчас надо употреблять в дело.

Каким же образом извлечь витамин, находящийся в иглах? Для этого достаточно нащипанную хвою измельчить ножом, топором или капустной тяпкой на кусочки длиной не более ½ см, поместить ее в котелок или иную посуду, лишь бы она не была медной, плохо луженой, и тотчас залить холодной или еще лучше горячей водой. Вода должна покрывать хвою, но избытка воды не следует брать. После этого котелок нагревается до 60—70° и в таком состоянии выдерживается 2—3 часа, затем настой сливается через чистый кусочек материи.

Полученный настой готов к употреблению. Он горек на вкус, обладает хвойным запахом, но он богат витамином С. Суточная доза витамина заключается всего в четверти стакана. Тщательными исследованиями установлено, что никаких вредных для здоровья веществ в хвойных настоях нет, и длительное употребление их в пищу не ведет к каким-либо отрицательным последствиям. Лучше, однако, для смягчения вкуса рекомендовать перед употреблением применить один из следующих приемов. Настой разбавляется в 3—4 раза водой и слегка подкисляется уксусной, лимонной или виннокаменной кислотой (до 0,2—0,3%). Горечь и запах ощущается теперь слабо, вкус становится приемлемым. Вкус становится еще лучше, если разбавленный настой подсластить сахаром (до 3—4%). Настой хорошо также разбавлять вместо воды хлебным квасом, сухарной водой или чаем.

Очень хорошие результаты дает такой прием. На стакан разбавленного настоя добавляется одна чайная ложка обыкновенных мелко раскрошенных пекарских дрожжей и смесь ставится, как тесто, в какое-либо теплое место на 2—3 часа. Полученный хвойно-дрожжевой напиток приобретает приятный вкус и вместе с тем обогащается вторым очень важным для поддержания нервной системы витамином, а именно витамином B_1.

Хранить долго настои не следует, их лучше употреблять в тот же день или на следующий. Без вреда для здоровья можно употреблять настои и в больших количествах, чем это указано.

Небрежное отношение к витаминному питанию является опасным не только для собственного здоровья, но и для здоровья окружающих. Сама по себе цынга болезнь не заразная, но скрытые формы ее так ослабляют защитные свойства организма, что человек легко превращается в передатчика всевозможных массовых инфекций — обостренных форм гриппа, ангины, воспаления легких и др.

Институт биохимии Академии наук СССР, который до войны занимался научными исследованиями в области витаминов, за последнее время усилил работу в этом направлении. Основной задачей в настоящее время является разработка упрощенных способов использования витаминного сырья с тем, чтобы это сырье могло перерабатываться не только на специальных витаминных заводах, но и на предприятиях местной пищевой промышленности, а также в кустарных, бытовых и походных условиях.

Особенно злободневной сейчас является проблема витаминизации продуктов, имеющих широкое распространение. Опыты показали, что в спиртовой среде витамин С, полученный из хвои, хорошо сохраняется в условиях пониженной температуры (не выше 5—10° тепла). Это открывает возможность простым способом витаминизировать водку и другие спиртоводочные напитки в осеннее и зимнее время, что особенно важно в тех условиях, в которых спирт входит в состав пайка.

Разработаны также весьма простые способы витаминизации повидла, сахарных сиропов, пюре, галет и других изделий за счет витамина С из незрелых плодов грецкого ореха, в изобилии произрастающего в южных районах. Это позволит весной этого же года широко использовать этот новый вид высоковитаминного сырья, на который до сих пор не обращали внимания.

Нет сомнения, что правильное представление о значении витаминов в питании и способах покрытия потребности в них поможет нам устранить неблагоприятное влияние одностороннего, в частности углеводного, питания, которое в ряде случаев неизбежно сопутствует военному времени, и тем самым позволит полнее использовать силы народа на скорейший разгром фашизма.

ПОЛЯРНЫЕ СИЯНИЯ

Я. Л. Альперт

„Но где ж, натура, твой закон?
С полночных стран встает заря!
Не солнце ль ставит там свой трон?
Не льдисты ль мещут огнь моря?
Се хладный пламень нас покрыл!
Се в ночь на землю день вступил!“

М. Ломоносов,
1743 г.

В северных широтах нашего полушария на небе в вечерние и ночные часы часто вспыхивает яркое свечение, иногда имеющее вид устойчивого сияния неба разной силы и цвета, иногда же похожее на пульсирующие и как бы бегущие по небу светящиеся лучи и облака. Это — так называемое полярное сияние, одно из величественнейших и интереснейших явлений природы.

Издавна это явление привлекало к себе внимание ученых и писателей. В частности, много внимания уделил ему гениальный русский мыслитель, ученый и поэт М. В. Ломоносов, который выразил свое восхищение им в строках, приведенных нами в качестве эпиграфа к настоящей статье, и оставил прекрасные зарисовки большого числа полярных сияний. Некоторые из этих зарисовок мы воспроизводим на рис. 1.

В менее поэтичной, но более точной форме описывает типичную картину полярного сияния Г. Фритц в своей книге „Das Nordlicht“: „Вечерами над полюсом появляется сперва некоторое помутнение, которое принимает форму более или менее регулярно ограниченного сегмента. В верхнем крае его вначале образуется белый, затем желтоватый светящийся свод, имеющий ширину до шести поперечников луны.

Из этого светящегося свода, после того как он продержится некоторое время, иной раз достигающее нескольких часов, начинают исходить светящиеся лучи или пучки лучей белого, голубоватого или красного цвета... Когда развитие сияния достигает высочайшей степени великолепия, в различных местах горизонта появляются лучи, простирающиеся часто до зенита. При этом, когда снопы лучей начинают исходить со всех областей горизонта, они как бы объединяются в одной точке, образуя куполообразный мост в небе — это момент наибольшего развития сияния, момент образования так называемой короны. После образования короны количество лучей уменьшается, они становятся все реже и, наконец, переходят в красное сияние, которое постепенно становится белым с тем, чтобы в дальнейшем потухнуть. При сильных сияниях часто случается повторное развитие сияния, снова возникают лучи, и образование короны повторяется несколько раз. Часто в конце сияния остаются отдельные светящиеся пятна и размытые, рядами расположенные облака, которые позволяют определить место ночного сияния; над различными местами горизонта появляются отдельные лучи, которые тут же исчезают“.

Как указывает самое название „полярные сияния“, описанные явления чаще всего наблюдаются в приполярных областях земли, т. е. в нашем полушарии в северных широтах. На рис. 2 воспроизведена составленная Фритцем карта, указывающая, как часто наблюдаются полярные сияния в различных местностях. Мы видим, что область наибольшего распространения полярных сияний лежит на расстоянии около 23° от магнитной оси Земли. Для южного полушария наблюдений имеется очень мало.

Нужно, однако, иметь в виду, что приведенное распределение является только средним, статистическим. В отдельные вечера могут иметь место значительные уклонения от

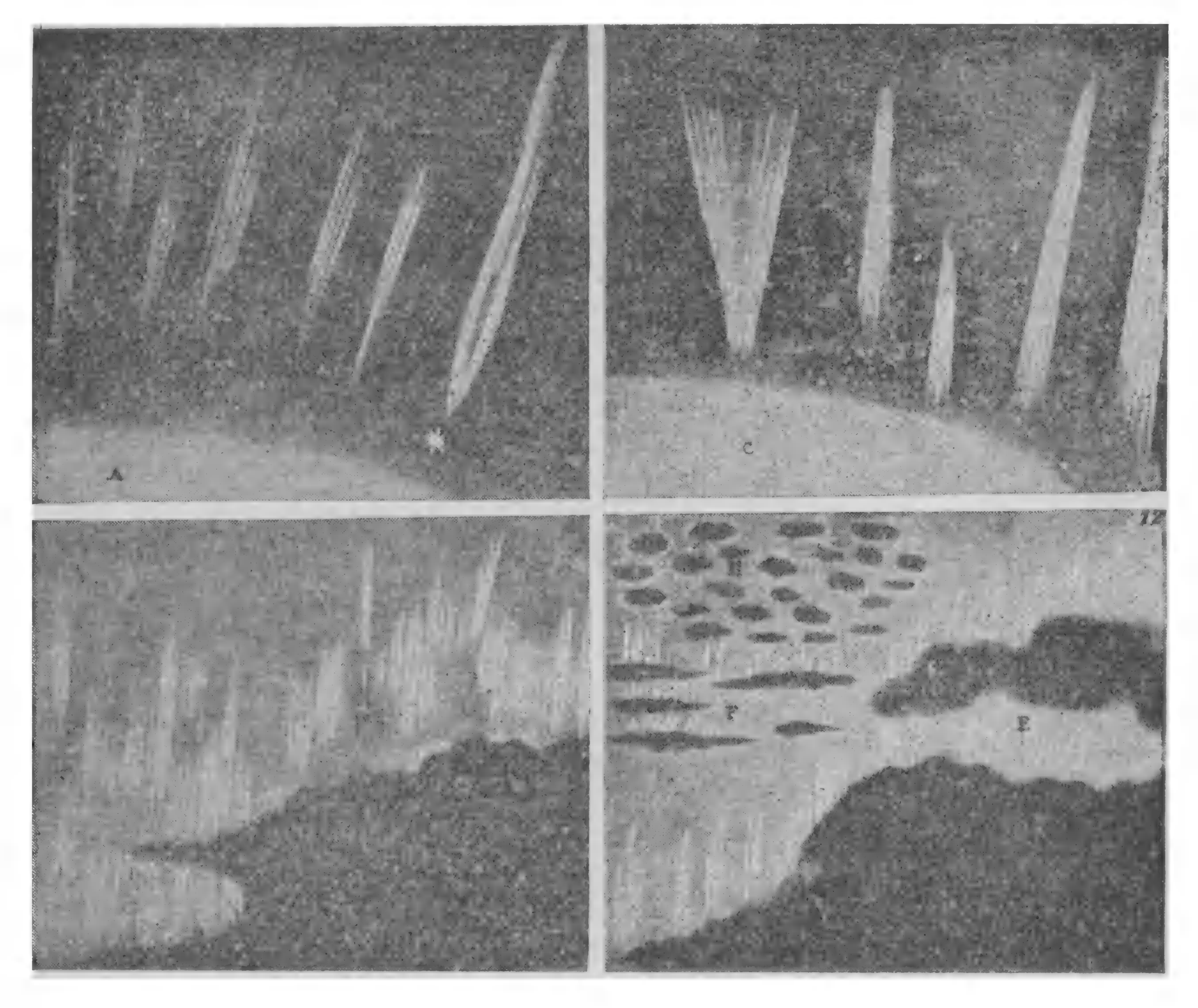


Рис. 1. Зарисовки полярных сияний, сделанные М. В. Ломоносовым

этого нормального распределения, и в некоторых случаях северные сияния наблюдаются даже в средних широтах. Так, в августе 1941 г. полярные сияния наблюдались в районе Алма-Аты, а в 70-х годах прошлого столетия — даже в Индии и Египте.

Хотя, как мы говорили выше, полярные сияния уже давно привлекали к себе внимание ученых, однако, подойти к решению вопроса о их причине и о роли, которую они играют в жизни нашей планеты, удалось только в последние десятилетия. До этого наука должна была собрать большое количество фактических данных о различных сторонах этого явления.

Первый вопрос, который встает здесь перед нами, — это вопрос о том, на какой высоте над землей возникают полярные сияния. Норвежский ученый Карл Штермер разработал соответствующий оптический метод определения высоты полярных сияний, давший ему и другим исследователям — преимущественно норвежским — возможность собрать большой материал относительно распределения сияний по высоте.

Результаты соответствующих наблюдений, проведенных в Северной и Южной Норвегии, сведены на рис. 3. Из рисунка видно, что максимальное число северных сияний соответствует высотам около 100 — 110 км. Верхняя граница полярных сияний в Северной Норвегии лежит около 300 км, в Южной — около 600 км. Нижняя граница полярных сияний находится на высоте около 80 км. Однако иногда полярные сияния наблюдаются и на высотах, меньших 80 км. На рис. 4 представлены результаты наблюдений Гаранга и Бауэра, указывающие на то, что полярные сияния могут появиться и на высотах около 65 км. Эти полярные сияния не имеют обычной желто-зеленой окраски, а представляют собой дуги с ярко выраженной красной окраской.

Кроме этих полярных сияний, Штермер

открыл также полярные сияния, лежащие на очень больших высотах над земною поверхностью, в области, освещенной солнцем. Эти полярные сияния, освещенные солнцем, наблюдаются в периоды сильных северных сияний в начале вечера или ранним утром на высотах в 1000 км и более. Они имеют неопределенную форму и серую или голубовато - фиолетовую окраску. Часто они возникают в виде связок лучей, напоминающих драпри. Верхняя граница лучей этих полярных сияний полностью лежит в области солнечной освещенности, нижняя граница их лежит уже в области тени земли. На рис. 5 представлены результаты наблюдений полярных сияний, освещенных солнцем. Линиями помечено направление сияний по отношению к земной поверхности.

Следующим важным вопросом при исследовании северных сияний является изучение их „окраски", т. е. спектрального состава излучаемого ими света. Этот вопрос особенно интересен для выяснения газового состава верхней части атмосферы. Проблема эта является одной из актуальнейших проблем геофизики, так как измерение состава верхней части атмосферы прямыми методами невозможно.

Ряд весьма кропотливых, трудных и систематических исследований дал возможность установить, что наиболее интенсивной линией спектра север-

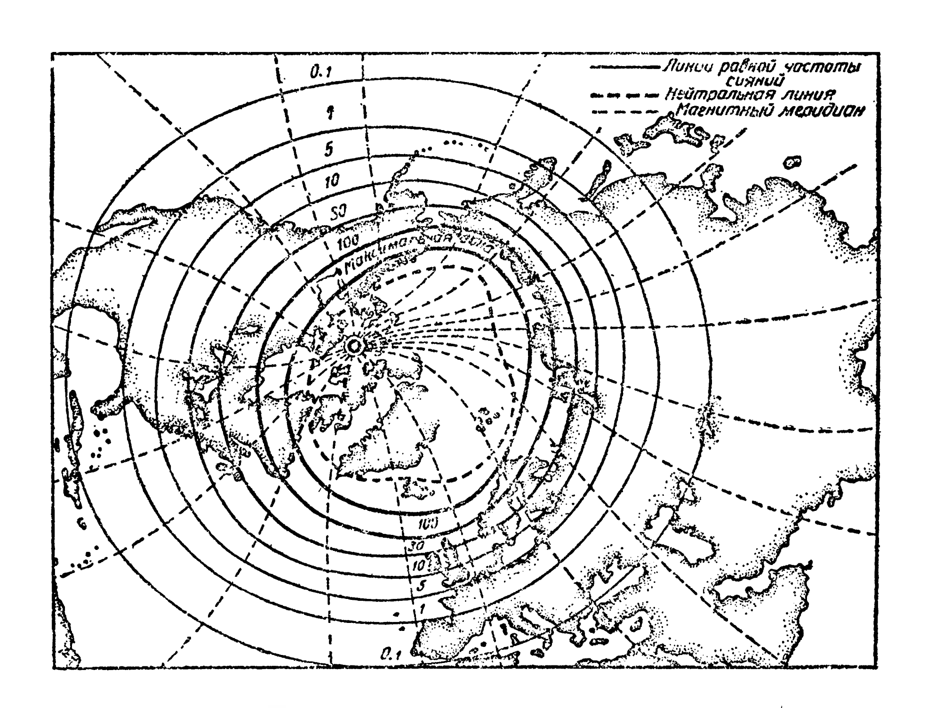


Рис. 2. Географическое распространение полярных сияний в северном полушарии

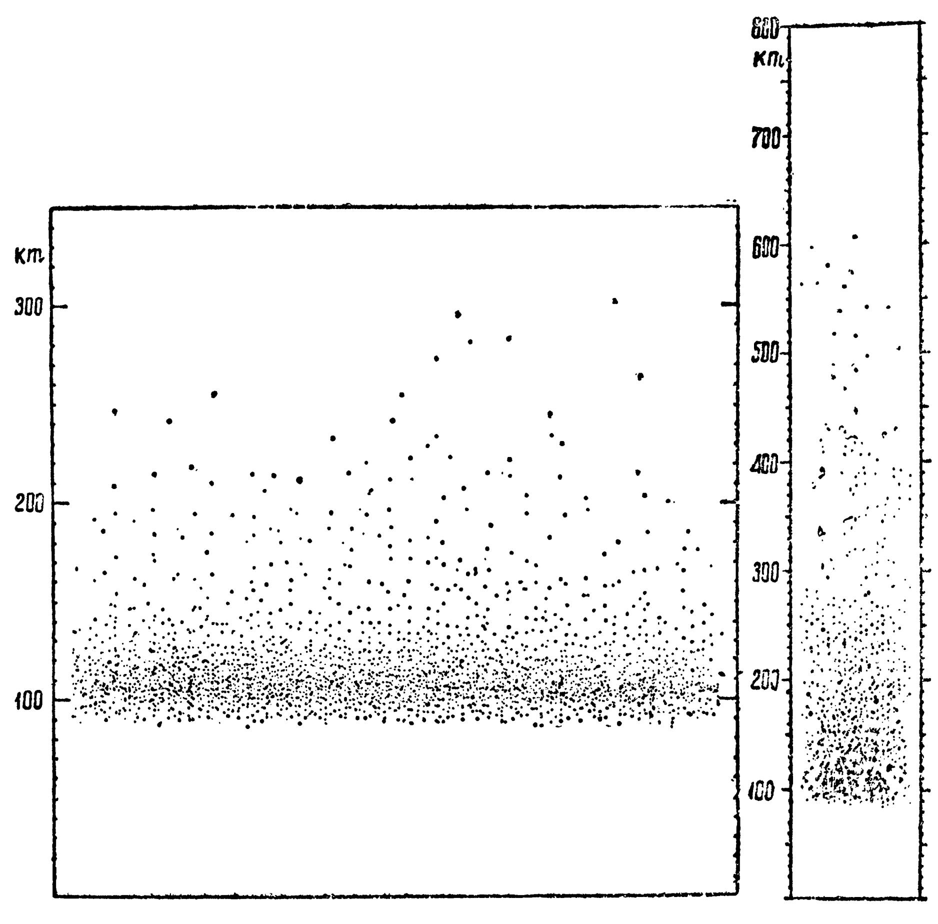


Рис. 3. Высоты полярных сияний в Северной Норвегии (слева), в Южной Норвегии (справа)

ных сияний является зеленая линия 5577,35 Å. Наряду с ней, в голубой и фиолетовой части спектра северных сияний имеются полосы в окрестности длин волн 4708, 4278 и 3914 Å, а в красной части спектра — вблизи длин волн 6300 и 6364 Å. Мы выделяем здесь наиболее важные области спектра северного сияния, который, вообще говоря, содержит очень много полос и линий. Для сравнения укажем, что, если принять интенсивность желто-зеленой линии 5577,35 Å за 100, то интенсивность линии 6364 Å составляет 40, линии 6300 Å — 28, линии 4708 Å — 7,8, линии 4277,6 Å — 24,4, линии 3914,4 Å — 47,4, а интенсивности боль-

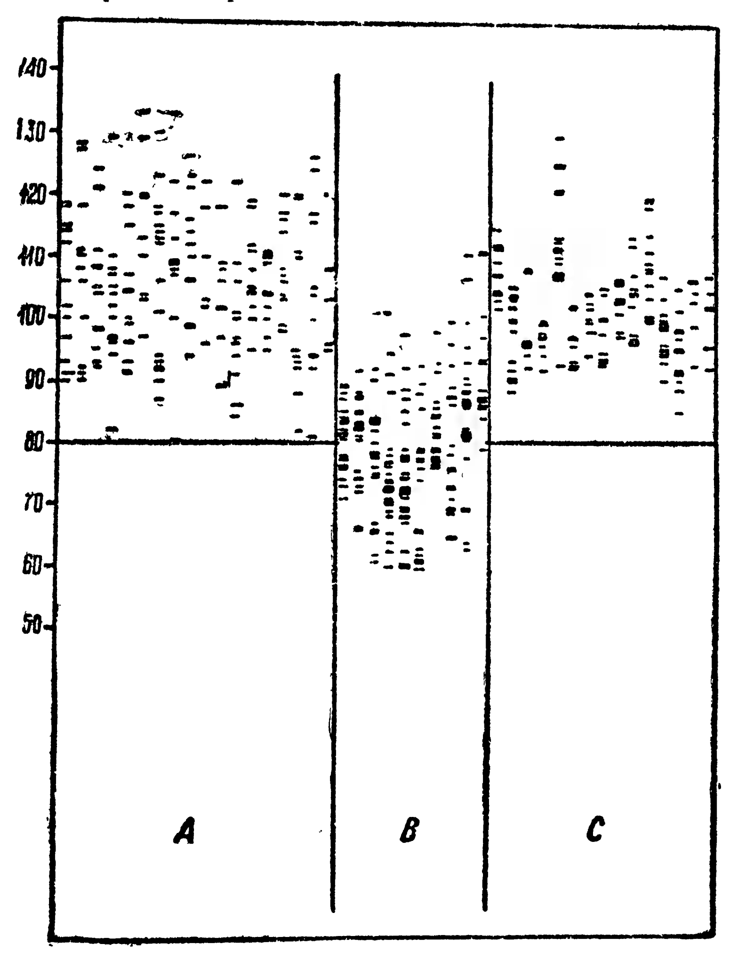


Рис. 4. А и С представляют собой нормальные полярные сияния желто-зеленого цвета. В—полярные сияния с сильно выраженной красной окраской

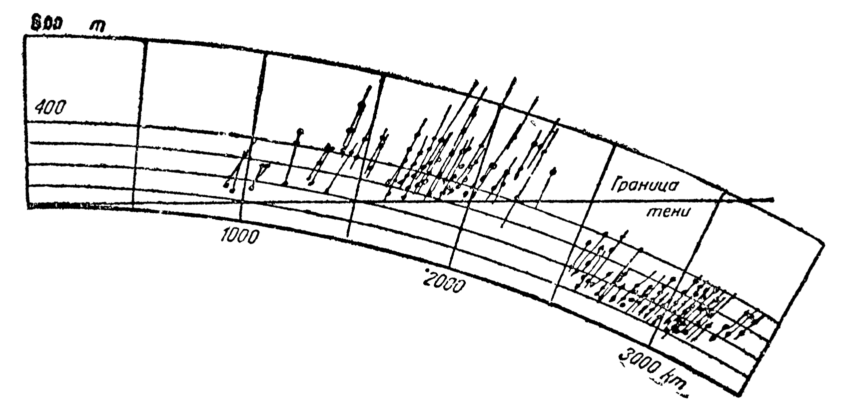


Рис. 5. Полярные сияния, наблюдавшиеся на больших высотах над земной поверхностью

шей части остальных линий составляют 1—2 и только некоторые из них 4—6. Эти сравнительные данные указывают, как велик удельный вес желто-зеленой линии в спектре северного сияния. Весьма любопытно и поучительно, что установление происхождения именно этой линии оказалось связанным с очень большими трудностями. Дело заключалось в следующем. Из анализа спектра северного сияния следовало, что полосы 4708, 4278 и 3914 Å соответствуют линиям азота, а линии 6300, 6364 принадлежат кислороду; линию же 5577 Å невозможно было отождествить ни с одной из линий спектра известных веществ. Многочисленные измерения и гипотезы не приводили ни к каким результатам. В 1923 г. Вегард высказал предположение, что линия 5577 Å должна находиться в спектре замерзшего азота, однако уже вскоре после этого Мак Ленан и Шрум рядом точных измерений показали, что зеленая линия полярных сияний не может быть связана ни с азотом, ни с аргоном. Многие уже были склонны допустить существование в верхней атмосфере неизвестного нам газа, излучающего эту линию. Для этого газа было даже придумано звучное имя „небулий". И... неожиданно пришло решение этой задачи. В 1925 г. Мак Ленан и Шрум случайно обнаружили в лабораторных опытах, что при некоторых специальных условиях кислород излучает линию 5577, 35 Å. Каковы же эти специальные условия? Оказалось, что для возбуждения в кислороде зеленой линии необходимо присутствие в нем некоторого количества гелия.

Рис. 6. Вековой ход относительного числа солнечных пятен (нижняя кривая) и интенсивности магнитного поля земли (верхняя кривая)

Рис. 7. Зависимость между относительным числом солнечных пятен (нижняя кривая) и числом дней полярных сияний (годовая сумма).

Таким образом результаты спектрального анализа северного сияния указывают, что в верхних слоях атмосферы преобладают тяжелые газы — азот, кислород, — и, повидимому, отсутствуют легкие газы — водород, аргон, наличия которых следовало бы ожидать на основе барометрической формулы. Это говорит о том, что вплоть до этих высот должно происходить перемешивание атмосферы, т. е. в ней должны быть разности температур и „ветер", тогда как ранее предполагали, что на высотах 20—30 км и более над земной поверхностью атмосфера находится в спокойном неподвижном состоянии при постоянной температуре. Решение этого вопроса о распределении температур в верхних слоях атмосферы имеет очень важное значение для геофизики, метеорологии, радиотехники и других отраслей науки.

Ключ к разрешению вопроса о причинах полярных сияний дала установленная довольно давно связь между частотой и интенсивностью полярных сияний, с одной стороны, и числом солнечных пятен и поведением земного магнитного поля, с другой стороны. Известно, что в различные годы число темных пятен, наблюдаемых на поверхности Солнца, различно. Примерно через 11 лет чередуются годы, когда это число становится максимальным; затем число пятен уменьшается, достигает минимума и снова начинает нарастать до максимума. Оказывается, что активность земного магнитного поля и частота полярных сияний изменяются строго параллельно солнечной активности. Это ясно видно из рис. 6 и 7. На этих рисунках нижняя кривая дает ход изменения числа солнечных пятен за период, охватывающий свыше 100 лет. Верхняя кривая на рис. 6 дает ход изменения интенсивности земного магнитного поля за те же годы, а верхняя кривая на рис. 7 изображает изменение числа дней в году, когда наблюдались полярные сияния. Параллельный ход верхних и нижних кривых на этих рисунках с несомненностью свидетельствует о тесной внутренней связи этих явлений.

С другой стороны, в конце XIX века было доказано, что разреженные газы светятся при прохождении в них электрического разряда, т. е. под действием ударов со стороны быстро летящих электронов. Естественно было предположить, что такое же происхождение имеет и свечение полярных сияний. Такую гипотезу впервые высказали в 1881 г. Донати и Гольдштейн. Однако только в 1896 г. Биркеланд сумел построить на основе

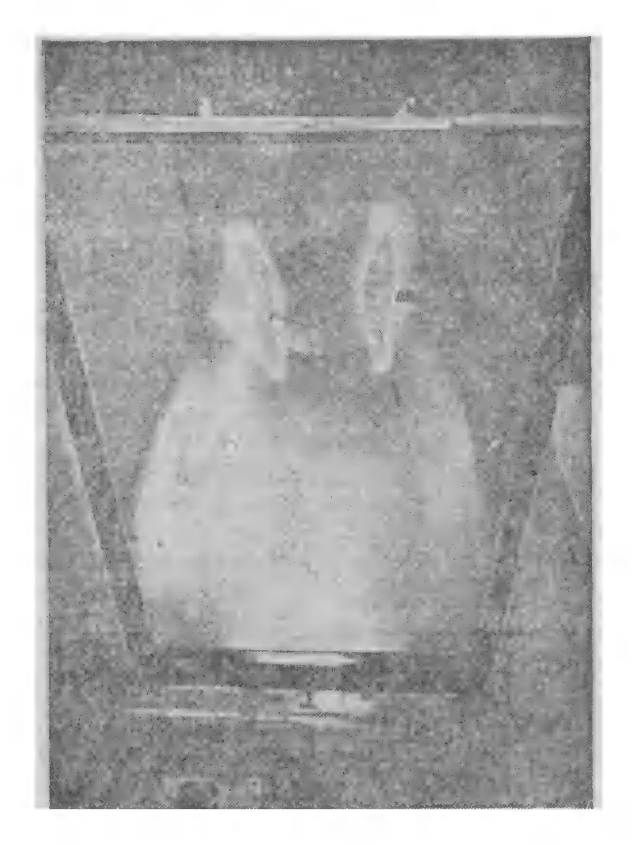


Рис. 8. Опыт Биркеланда с моделью Земли, демонстрирующий отклонение электронов у магнитных полюсов.

представлений такого рода более или менее стройную теорию полярных сияний, которую он обосновал рядом классических опытов. Еще позже — в 20-х годах текущего столетия — Штермер, с помощью сложных и громоздких математических расчетов доказал правильность теории Биркеланда; ему же удалось объяснить некоторые детали полярных сияний, а Брюке очень тонкими и изящными опытами показал правильность расчетов Штермера.

Современная теория полярных сияний в общих чертах сводится к следующему: наряду с электромагнитным излучением Солнца, охватывающим широкий спектр электромагнитных колебаний от инфракрасных до ультрафиолетовых лучей, с поверхности Солнца выбрасываются с большой скоростью, достигающей нескольких тысяч километров, электрически заряженные частицы — электроны—и ионизированные и нейтральные молекулы газов и паров, окружающих Солнце. Это — так называемое корпускулярное излучение солнца., Пронизывая толщину земной атмосферы инфракрасные и видимые лучи доходят до самой земной поверхности и здесь отдают свою энергию, нагревая и освещая земную поверхность и ее атмосферу. Ультрафиолетовые лучи сильно поглощаются верхними слоями атмосферы, и большая часть их энергии уходит на ионизацию. Корпускулярное излучение солнца так же, как и ультрафиолетовые лучи, отдает свою энергию преимущественно верхним слоям атмосферы, ионизирует ее. Однако, так как электрические частицы, попадая в магнитное поле

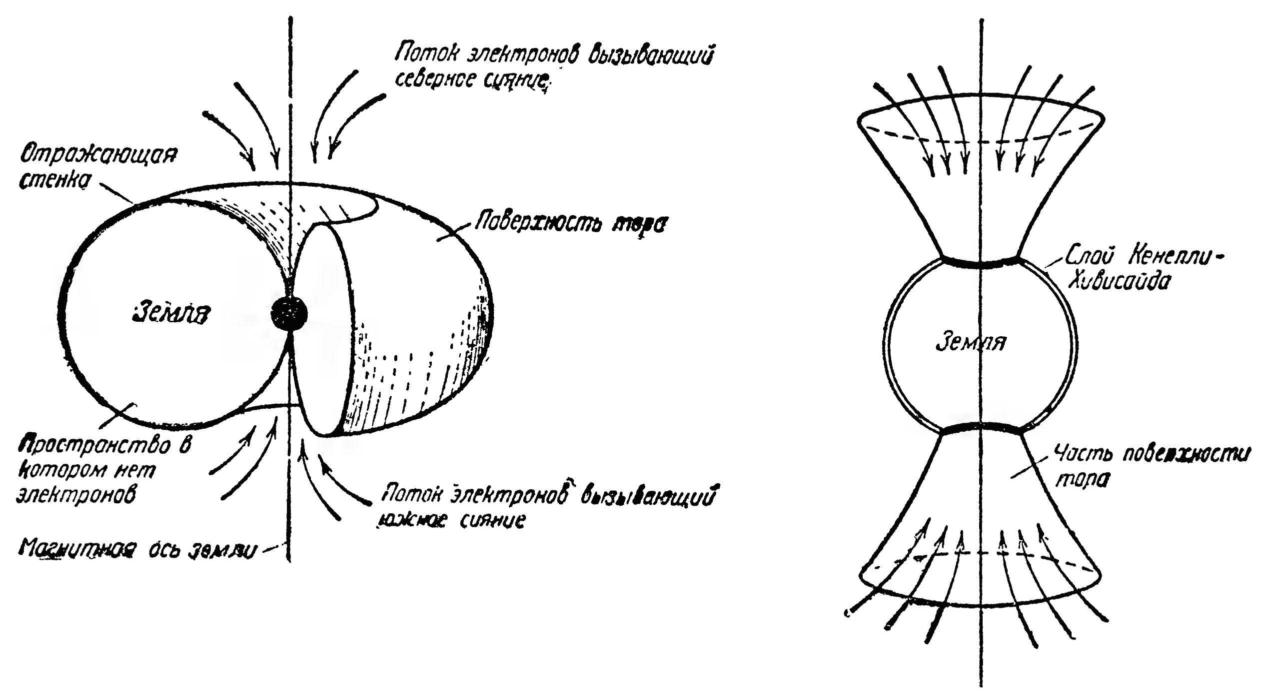


Рис. 9. Распределение потока электронов вокруг Земли

земли, изменяют траекторию своего движения, закручиваются в сторону полярных областей, то в этих областях концентрируется большая часть корпускулярных лучей, и здесь их энергия поглощается верхними слоями атмосферы; эта энергия уходит частично на ионизацию и частично на возбуждение находящихся в атмосфере газов. Возбужденные электронными ударами атомы или молекулы газов, спустя короткий промежуток времени, возвращаются в нормальное состояние, излучая запасенную ими энергию в виде света, который мы и воспринимаем как полярное сияние.

На рис. 8 воспроизведен один из опытов Биркеланда. Пучок электронов направлялся на намагниченный железный шар (модель Земли). Из рисунка видно, что этот пучок электронов действительно концентрируется у магнитных полюсов.

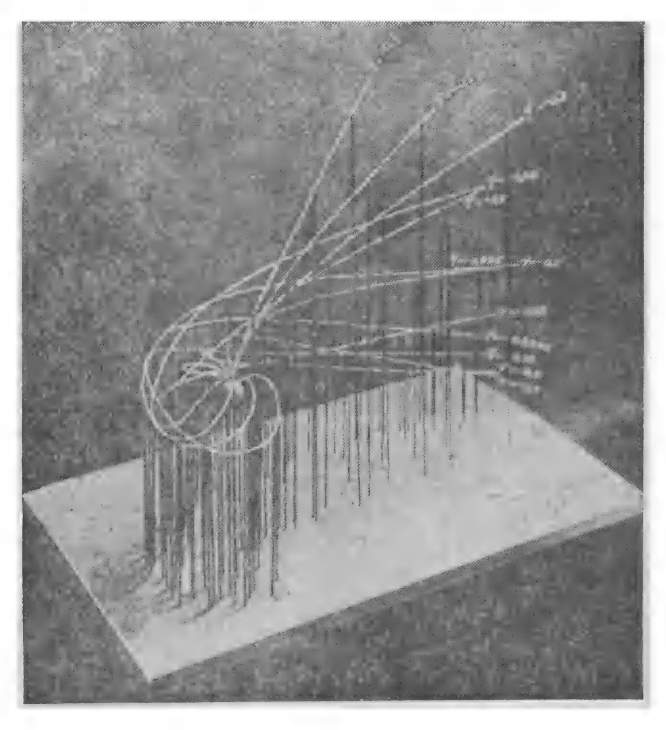


Рис. 10. Модель траекторий электрически заряженных частиц в магнитном поле земли

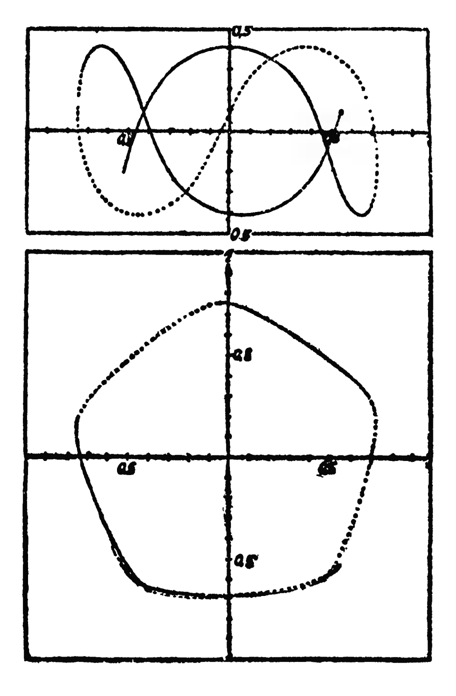
Штермер вычислил траекторию движения наэлектризованных частиц в земном магнитном поле и показал, что большая часть их концентрируется у магнитных полюсов земли, причем поток электронов образует вокруг земной поверхности поверхность, напоминающую шину автомобильного колеса (рис. 9). Такая поверхность называется поверхностью тора или тороидальной поверхностью. Внутренняя часть пространства, охватываемого этой тороидальной поверхностью, свободна от электронов, ось тора совпадает с магнитной осью земли. Эти расчеты находятся в согласии с опытами Биркеланда. Таким образом была теоретически и экспериментально установлена природа полярного сияния. Дальше перед теорией встал вопрос о том, почему сияния возникают именно в ночные часы? Теория Штермера показала, что траектория движения электрических частиц такова, что они попадают на самую поверхность земли со стороны ее тени. Это иллюстрируется на модели, изображенной на рис. 10, показывающей траекторию движения электронов. Результат этот явился следующим триумфом теории.

Были также вычислены траектории движения электронов при некоторых специальных условиях, которые могут иметь место в верхних слоях атмосферы; эти расчеты позволили объяснить, правда, только в известной мере, причудливые формы различных полярных сияний. Это иллюстрируется на рис. 11, указывающем на блестящее совпадение результатов теоретических расчетов Штермера с тонкими опытами Брюке.

В начале этого столетия, когда начались систематические исследования распространения радиоволн, было обнаружено, что с помощью радиоволн можно устанавливать связь между различными материками, слушать, например, американские радиопередачи в Москве, и, как в дальнейшем оказалось, даже установить связь между обеими полярными областями — южным и северным полюсом.

Открытие это явилось большим сюрпризом для человечества, но вызвало большое недоумение в среде физиков, математиков и радиотехников, так как ни одна из существовавших в ту пору теорий распространения радиоволн не могла объяснить этого явления. Однако вскоре явилось и объяснение ему. Кеннели и Хивисайд в 1902 г. высказали гипотезу, что на высотах около 100 км над земной поверхностью имеются проводящие слои, которые способны отражать радиоволны подобно тому, как зеркало отражает очень короткие электромагнитные волны — свет. Еще ранее гипотеза о существовании проводящих слоев в верхней атмосфере была высказана Стюартом (1882 г.) и Шустером (1886 г.) для объяснения ряда явлений земного магнетизма. Однако лишь в 1925 г. существование проводящих слоев на высотах 100 км было экспериментально доказано американскими исследователями Брейт и Тювом с помощью весьма простых по идее и наглядных радиометодов. Их способ кратко заключался в следующем: передающая станция излучает короткие пакеты радиоволн — радиоимпульсы. На приемной станции импульсы эти регистрируются с помощью специального прибора — осциллографа, который дает возможность расшифровать приход каждого импульса в отдель-

ности. При постановке опытов с этой установкой оказалось, что к месту радиоприема приходят не только радиоимпульсы, распространяющиеся вдоль земной поверхности, но и дополнительные сигналы, запаздывающие по отношению к первым на короткое время, порядка 0,001 сек. Предполагая, что эти дополнительные импульсы получаются в результате отражения радиоволн от верхних слоев атмосферы, Брейт и Тюв уже на основании своих первых опытов указали, что отражающие слои должны находиться на высоте около 100 км над земной поверхностью. Эти опыты вызвали большой и широкий интерес в среде радиоспециалистов, и весьма быстро подобные опыты начали проводиться в различных странах мира. Большое число последующих исследований позволило установить, что радиоволны отражаются не только с высот порядка 100 км от так называемого E-слоя ионосферы, но что существует по крайней мере еще один отражающий слой, так называемый слой F_2, на высотах около 250 км над земной поверхностью. Многочисленные исследования были посвящены изучению свойств этих слоев, их влияния на распространение радиоволн различной частоты, суточного и сезонного хода изменения их состояния, наконец, взаимосвязи законов распространения радиоволн с другими геофизическими явлениями. Разработанные радиометоды позволили глубоко изучить те свойства верхних слоев атмосферы, которые были недоступны до этих пор другим методам. Так впервые удалось определить степень их ионизации.



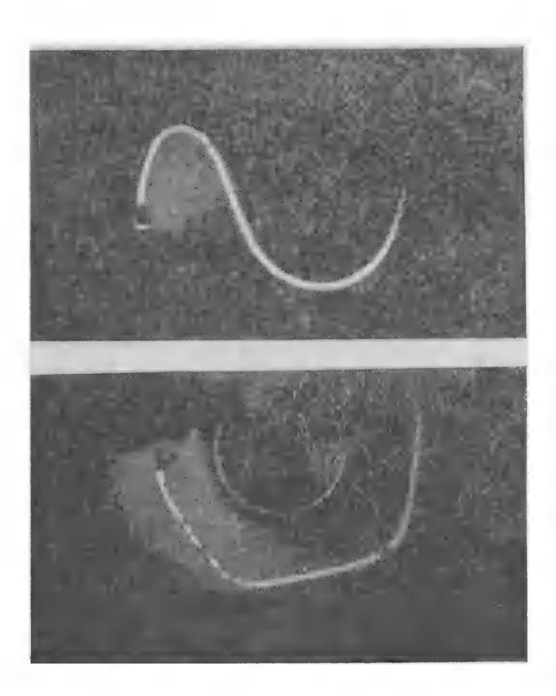


Рис. 11. Слева—периодические траектории движения электронов, вычисленные Штермером; справа—те же траектории движения электронов, наблюдаемые в опытах Брюке

Выше мы видели, что образование ионизированных слоев в верхней части атмосферы является результатом воздействия на нее солнечной радиации, и естественно было ожидать, что свойства этих слоев должны находиться в связи с солнечной деятельностью и поведением магнитного поля земли. Анализ многочисленных опытов действительно указал на тесную связь между законами распространения радиоволн и этими геофизическими явлениями. На рис. 12, например, показано, как изменяется от года к году сила радиоприема (нижняя кривая) и солнечная активность или число темных пятен на Солнце (верхняя кривая). Обе кривые идут параллельно друг другу.

При исследовании ионизированных слоев атмосферы радиометодами обычно характеризуют свойства этих слоев той радиочастотой, начиная с которой радиоволны более не отражаются от ионосферы, а просачиваются через них, подобно тому, как почти беспрепятственно проходят через атмосферу электромагнитные колебания большой частоты, соответствующие видимым и инфракрасным лучам. Эту радиочастоту называют **критической** частотой. Естественно, что критическая частота должна иметь различные значения для различных слоев ионосферы, так как степень их ионизации неодинакова. На рис. 13 сравнивается ход среднего

значения критической радиочастоты для слоя F_2 (верхняя кривая) в дни магнитных возмущений с ходом силы магнитных возмущений. Из рисунка видно, что между ними существует тесная связь. Естественно было ожидать, что и между интенсивностью полярных сияний и условиями распространения радиоволн, т. е. условиями радиосвязи в полярных областях, имеется определенная связь. Было известно, что в некоторых случаях радиосвязь в полярных областях полностью нарушается. Анализ этих явлений показал, что эти нарушения радиосвязи совпадают с периодами сильных магнитных бурь. Ряд специальных наблюдений показал, что в эти периоды северные сияния, будучи весьма интенсивными и продолжительными, характеризуются еще тем, что они наблюдаются на меньших высотах. А это означает, что сильнее ионизируются более низкие области атмосферы, E-слой опускается, и в нем, благодаря большей плотности атмосферы, должны сильнее поглощаться радиоволны. Опыты, произведенные в полярных областях с помощью радиометодов, показали, что дни сильных северных сияний совпадают с днями повышенной ионизации слоя, высота которого при этом сильно понижается. Это весьма наглядно иллюстрирует рис. 14, в верхней части которого приведен суточный ход интенсивности магнитного поля земли, а в нижней части — степень ионизации слоя E ионосферы. Мы видим, что даже при сравнительно слабых возмущениях магнитного поля земли степень ионизации E-слоя испытывает дополнительное возмущение, имеются уклонения от нормального суточного хода ее.

Наблюдения за слоем F_2 в полярных областях указывают, что степень ионизации и критическая частота его мало зависят от полярных сияний; это указывает на то, что ионизация слоя F_2 в основном обусловлена поглощением ультрафиолетового излучения Солнца в верхних частях атмосферы.

Теория полярного сияния Штермера дала также хорошее объяснение весьма интересному явлению, известному в литературе под названием м и р о в о г о э х о. Явление заключается в следующем. В некоторых случаях радиосигналы, излучаемые передатчиком, поступают к месту приема с запаздыванием по отношению к сигналу, распространяющемуся вдоль земной поверхности, на много секунд, иногда до 30 секунд. Это свидетельствует о том, что эти заблудившиеся радиосигналы, прежде чем прийти к месту приема, должны совершить дополнительные пути в несколько десятков тысяч километров. Каковы же эти пути? Что заставляет радиосигналы приходить с таким опозданием? Возможны несколько объяснений. Можно,

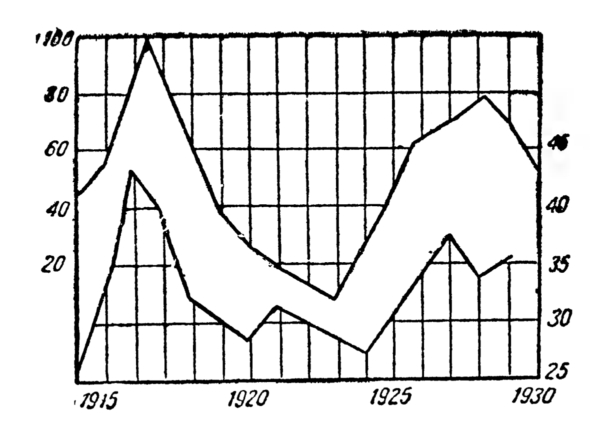


Рис. 12. Зависимость между относительным числом солнечных пятен (верхняя кривая) и силой радиоприема в вольтах на метр (нижняя кривая)

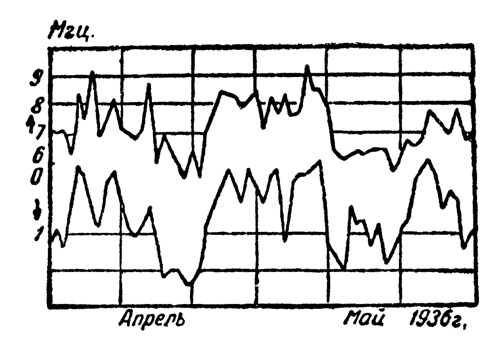


Рис. 13. Зависимость между значением критической частоты слоя (верхняя кривая) и состоянием магнитного поля Земли (нижняя кривая)

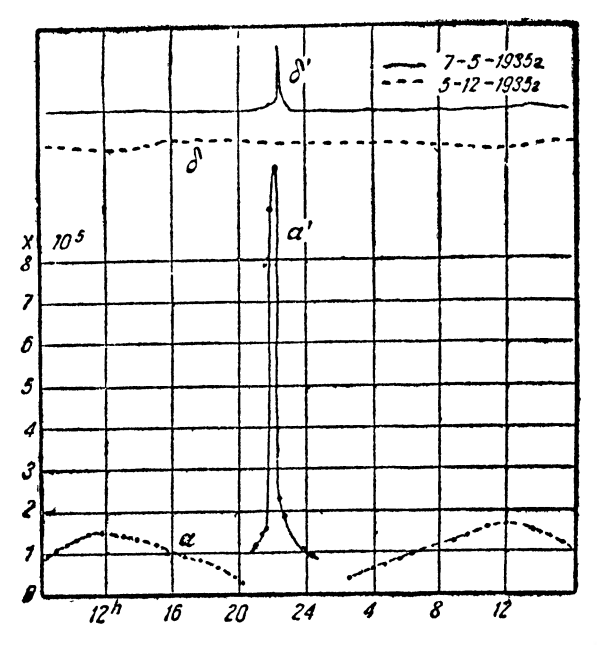


Рис. 14. Зависимость между степенью ионизации слоя E (кривые a и a') и состоянием магнитного поля Земли (кривые б и б')

например, думать, что сигналы, попадая в ионосферу, не отражаются сразу от нее, а скользят вдоль ее поверхности, совершают несколько „кругосветных путешествий“, а затем отражаются. Объяснение это связано с некоторыми затруднениями. Такой путь радиосигналов был бы возможен, если бы ионосфера представляла собой более или менее однородное зеркало правильной формы, концентричное земной поверхности. На самом деле этого нет. Хорошо известно, что даже в сравнительно узких областях над земной поверхностью структура ионосферы заметно неоднородна, тем более она неоднородна вокруг Земли, атмосфера которой находится в каждый данный момент времени в весьма различных и непостоянных условиях, хотя бы из-за перехода от освещенной части к тени.

Возможно и другое предположение. Радиосигнал, попадая в ионосферу, в некоторых случаях распространяется очень медленно. Это вызывает сильное запаздывание его. Не останавливаясь на деталях, укажем, что и эта гипотеза встречается с принципиальными трудностями.

Штермер выдвинул другую гипотезу, которая поныне остается наиболее правдоподобной. Выше мы видели, что корпускулярные лучи Солнца, попадая в сферу влияния магнитного поля Земли, закручиваются к полюсам таким образом, что образуют вокруг Земли тор, во внутренней полости которого нет электронов (рис. 9). Далее известно, что при некоторых условиях ионосфера может быть прозрачной для радиочастот и радиоволны, излучаемые вверх, могут уходить за пределы земной атмосферы. Можно было бы предположить, для объяснения мирового эхо, что в мировом пространстве имеются ионизированные облака, от которых отражаются радиоволны, просачивающиеся через земную атмосферу и возвращающиеся на землю с большим опозданием. Но возникает вопрос — откуда берутся эти ионизированные облака? Они могли бы существовать в межпланетном пространстве только в случае наличия какого-либо газа в нем. Но хорошо известно, что межпланетное пространство практически свободно от газов, а если таковые имеются в нем, то в таких ничтожных количествах, что об ощутимой их ионизации, обусловливающей способность отражать радиоволны, не может быть и речи. Тем более не может быть речи о неоднородной ионизации этих газов, об образовании ионизированных облаков.

Штермер предполагает, что радиосигнал, уходящий за пределы земной атмосферы, попадая во внутреннюю полость тора, двигается здесь беспрепятственно и отражается наружной стенкой его, состоящей из электронов. Расчеты Штермера показывают, что при возможных скоростях движения электронов, летящих от Солнца к Земле, внешний поперечник тора таков, что запаздывание радиосигнала может достигать нескольких секунд. Таково объяснение Штермера, наиболее правдоподобное из всех гипотез о причинах мирового эхо. Но если это объяснение мирового эхо действительно верно, то оно еще раз косвенным путем подтверждает правильность теории полярного сияния! Само это обстоятельство, весьма характерное для истории науки, очень поучительно.

Мы видели, как тесно связано изучение полярных сияний с различными областями знания. Потребовался ряд весьма важных открытий в изучении строения вещества, оптике, астрономии и других отраслях знания, для того, чтобы хоть несколько приблизить нас к пониманию физической природы полярных сияний. В свою очередь, изучение полярных сияний может помочь решению такой научно интересной и практически важной задачи, как радиосвязь в полярных областях.

Несмотря на все успехи, достигнутые до настоящего времени, ошибкой было бы думать, что эта область представляет собой законченную главу нашего знания. Большинство, казалось бы, разрешенных вопросов содержит еще много непонятных и неизвестных моментов и противоречий. Сделаны только первые шаги по пути понимания природы полярных сияний и изучения связи их с другими явлениями природы.

Литература

К. Штермер, Проблема полярных сияний. ГГГИ, 1933 г. К. Рукоп, К. Штермер и др. Электрофизика высоких слоев атмосферы (серия брошюр „Успехи геофизики“). ГТТИ, 1934 г. Ю. Бартельс, Физика высоких слоев атмосферы ГТТИ, 1934 (из серии брошюр „Успехи геофизики“). И. А. Хвостиков, Свечение ночного неба. Известия Академии Наук СССР, 1937 г. Б. Архангельский и Н. Пабо. Распространение радиоволн в высоких широтах. Издательство Главсевморпути, 1938 г. Р. Мимно, Физика ионосферы. Издательство Связи, 1938 г.



Д-р физико-математических наук
Л. Д. Ландау

Мы говорим: „на улице мороз — термометр показывает 30° ниже ноля" или „в комнате тепло — температура в ней 18° тепла".

Эти слова — „выше ноля" и „ниже ноля", или „градусы тепла" и „градусы холода" — далеко не всегда соответствуют нашим обычным представлениям о тепле и о холоде. Никто не станет утверждать, что температура в 1° тепла соответствует теплой комнате, и только тогда, когда термометр падает ниже ноля, в комнате становится действительно, холодно.

Точка „ноль" на нашем термометре выбрана довольно условно; она соответствует температуре, при которой замерзает вода. Всякому ясно, что когда термометр показывает ноль, это вовсе не означает, что тело вовсе не содержит тепла. В этом смысле температура ноль ничем не отличается от температур выше и ниже нуля.

Совершенно то же мы имеем, когда говорим о том, что номер журнала, который лежит перед вами, вышел в 1942 году. Мы не придаем числу 1942 такого же буквального смысла, как например, если бы мы говорили о том, что какая-то вещь стоит 1942 рубля. Оно отмечает лишь, что от некоего, весьма условно выбранного, момента прошло 1942 года. Историки привыкли говорить о годах до нашей эры и годах после нашей эры совершенно так же, как мы говорим о температурах выше и ниже нуля, и хотя совершенно ясно, что год начала нашей эры ничем не замечателен и с таким же успехом можно было бы отсчитывать годы от любого другого момента, тем не менее такой счет лет ни для кого не представляет неудобств, лишь бы только этот счет был принят всеми.

Но если бы вы, указывая возраст, отсчитывали свою жизнь не от дня рождения, а, скажем, от момента, когда вам минуло 7 лет, то такой метод определения возраста был бы неудобен, хотя ничего противоречивого в нем не было бы, ибо число, показывающее сколько времени прошло с этого момента, одновременно указывало бы и сколько лет тому назад вы родились (для этого надо просто прибавить к этому числу еще 7 лет). Обычно никто так не поступает, ибо возраст в 7 лет ничем не замечателен, и значительно логичнее отсчитывать возраст от того момента, когда человек начал свое существование.

Ноль температуры Цельсия — это такая же условная точка. Естественно возникает вопрос о том, нельзя ли и при измерении температуры найти такую температуру, которую было бы столь же логично выбрать за ноль, как в случае возраста момент рождения человека.

Для того, чтобы на этот вопрос ответить, надо знать, что такое температура, что происходит с телом, когда его нагревают.

Хорошо известно, что если бить молотком по куску металла, то этот кусок нагреется. Что же в нем происходит? Энергия ударяющего молотка передается атомам, из которых состоит металл, атомы начинают двигаться быстрее, скорость их движения возрастает.

Это мы и воспринимаем как повышение температуры. Чем выше температура какого-нибудь тела, тем интенсивнее двигаются его атомы. Наоборот, когда температура тела понижается, то это значит, что уменьшилась скорость движения его атомов.

Но если температура так связана с движением атомов, то вполне естественно считать, что тело имеет температуру ноль тогда, когда его атомы вовсе не двигаются. Это ведь означает, что тело вовсе не содержит тепла. Естественно эту температуру, при которой тело совсем не содержит тепла, принять равной нулю. Такой ноль называют „абсолютным нолем", а температуру, отсчитываемую от этого ноля, называют „абсолютной температурой".

Косвенными способами было установлено, что абсолютный ноль соответствует температуре в 273,2° ниже ноля по термометру Цельсия. Это значит, что для того, чтобы перевести градусы Цельсия в абсолютные, надо к ним прибавить 273,2°. Так, например, температура замерзания воды равна

273,2° абсолютных, а температура кипения 373,2°.

При измерении температуры в абсолютных градусах не существует температур ниже ноля. Говорить о температуре ниже абсолютного ноля, например о температуре в —275° по Цельсию, столь же бессмысленно, как спрашивать о том, что делал 25 лет тому назад человек, которому сейчас 20 лет.

Таким образом, абсолютный ноль есть самая низкая температура, которая только может существовать. Можно ли в действительности довести тело до температуры абсолютного ноля? Оказывается, что нет. Получить абсолютный ноль невозможно, можно только как угодно близко к нему подходить.

Представим себе, что нам надо выкачать воздух из какого-нибудь сосуда. Мы приключаем для этого наш сосуд к воздушному насосу. Сможем ли мы как-нибудь выкачать из этого сосуда весь воздух без остатка? Очевидно, нет. Сколько бы мы его ни выкачивали, всегда в сосуде останется некоторое, хотя бы и очень маленькое количество воздуха. Мы можем получать все большие и большие разрежения, но никогда не выкачаем весь воздух до последней молекулы.

Аналогично этому обстоит дело и с достижением абсолютного ноля. Мы можем все больше и больше понижать температуру тела, все больше и больше замедлять движение его атомов, но отнять у тела все тепло, полностью остановить его атомы мы не можем. У тела всегда останется некоторое, хотя бы очень небольшое, количество тепла, и его температура всегда, хотя бы не на много, будет отличаться от абсолютного ноля.

Каким же образом достигаются низкие температуры? Какие температуры умеют сейчас получать?

Самая низкая температура, какая встречается в природе, это 68° ниже ноля по Цельсию, или около 204° абсолютных. Такой мороз был отмечен на полюсе холода, в городе Верхоянске, находящемся в Сибири.

Физики умеют получать значительно более низкие температуры. Самая низкая температура, которая была получена в лаборатории (как она была получена — об этом речь ниже), отличается от абсолютного ноля всего на 44 десятитысячных доли градуса. Комнатная температура (около 300° абсолютных) превышает эту температуру более, чем в 60 тысяч раз.

Интересно отметить, что в сторону высоких температур достижения физиков более скромны. Самую высокую температуру удалось получить Андерсону, который пропускал ток очень большой силы через тоненькую проволочку. Проволочка, конечно, моментально сгорала, но при этом создавалась температура в 20000°. Однако эта колоссальная температура превышает комнатную „всего“ в 70 раз.

Способов получения низких температур довольно много. Самым старым из них пользуются обычно при изготовлении мороженого. Известно, что при этом в лед для понижения его температуры прибавляют обыкновенную поваренную соль. Дело заключается здесь в том, что раствор соли в воде замерзает при температуре более низкой, чем температура замерзания чистой воды. Когда мы прибавляем ко льду соль, то образуется соляный раствор, который не замерзает, так как температура недостаточно низка для этого. При этом часть льда превращается в воду, которая и растворяет соль. Но для того, чтобы лед растаял, тратится тепло. Поэтому остающийся лед будет охлаждаться. Это охлаждение будет происходить до тех пор, пока температура не понизится настолько, что замерзнет сам соляной раствор. Охлаждение солью было в свое время единственным способом понижения температуры. Фаренгейт в 1714 году, выбирая для ноля своего термометра самую низкую температуру, вынужден был воспользоваться для этого смесью соли со льдом, имевшей температуру всего лишь —18° по Цельсию.

Кроме поваренной соли, иногда употребляют с той же целью и другие вещества, например, хлористый кальций. Однако с помощью этих веществ нельзя получить очень низких температур. Практически ими можно пользоваться только тогда, когда надо получать температуры до —50° по Цельсию.

Для того, чтобы получить более низкие температуры, надо пользоваться другими методами.

Хорошо известен тот факт, что кипящая вода на высоких горах менее горяча, чем кипяток внизу на земле. По мере понижения давления понижается и температура кипения воды. Этим можно воспользоваться для охлаждения. Если приключить к воздушному насосу колбу с водой и начать интенсивно выкачивать из этой колбы воздух, то можно понизить давление настолько, что температура кипения воды сделается ниже комнатной, и вода закипит. А так как для испарения воды необходимо затратить тепло, то остающаяся вода охладится. Температура будет понижаться до тех пор, пока она не сделается равной той, при которой вода кипит при этом давлении.

Когда давление в колбе сделается меньшим, чем 4,5 мм ртутного столба, т. е. будет в 17 раз ниже атмосферного, то охлаждение станет настолько сильным, что вода замерзнет. Мы будем свидетелями парадоксального явления — замерзания кипящей воды.

Таким способом пользуются в технике для получения сравнительно небольших охлаждений, с той только разницей, что вместо воды обычно употребляют газ аммиак, предварительно превращенный в жидкость.

Аммиак — хорошо известный газ, так как его раствор в воде есть нашатырный спирт. Он может быть легко ожижен простым сжатием. Для этого достаточно при комнатной температуре сжать его до 7 атмосфер.

Если теперь внезапно уменьшить давление и дать аммиаку свободно испаряться, то температура его сильно понизится. Таким способом можно получить холод до —50°.

Такой холод, между прочим, нашел интересное применение для консервирования овощей и фруктов. Хорошо известно, что для того, чтобы мясо или масло не испортились, их кладут на лед. Но если с той же целью отнести на ледник картошку, то результат будет весьма плачевен, — картошка погибнет. Однако совсем не обязательно, чтобы мороз оказался гибельным для картошки. Было выяснено, что дело совсем не в морозе самом по себе, а в том, что в обычных условиях замораживание происходит довольно медленно. При этом вода, которая всегда имеется в достаточном количестве внутри фруктов и овощей, замерзает в виде кристалликов, которые разрушают нежную ткань, и в результате при размораживании замороженные овощи быстро гниют.

Другое дело, если замораживание производится не медленно, а очень быстро, так, чтобы вода замерзла сразу вся. Замороженные таким образом фрукты полностью сохраняют свой вкус.

В одном из американских журналов несколько лет тому назад было даже описано, что замороженную в жидком воздухе обезьянку оказалось возможным оживить. При этом, как отмечает автор статьи, она даже получила удовольствие.

Для того, чтобы получить еще более низкие температуры, необходимо пользоваться более холодными жидкостями, чем жидкий аммиак. Такими жидкостями могли бы служить другие ожиженные газы. Но каким образом превратить их в жидкость? Первое, что пришло физикам в голову, это — попытаться превратить газы в жидкость с помощью сжатия. Это, как мы уже знаем, приводит к нужному результату в случае аммиака. Именно так в конце XVIII века он был впервые из газов превращен в жидкость.

Значительные успехи в области ожижения газов принадлежат великому английскому физику Фарадею. В 1823 г. он впервые получил жидкий хлор.

Фарадей, в отличие от своих предшественников, не просто сжимал газы. Одновременно со сжатием он опускал колбу, в которой находился сжатый газ, в какую-нибудь охлаждающую смесь, вроде уже упоминавшейся нами смеси льда с солью. Благодаря такой комбинации сжатия с охлаждением ему удалось значительно увеличить количество газов, превращенных в жидкости.

Так, кроме хлора, Фарадею удалось получить в жидком виде сероводород, углекислый газ, окись азота и другие газы. Однако превратить в жидкость все известные ему газы не удавалось.

Такие газы, как кислород, водород, азот, окись углерода (обыкновенный угарный газ) оставались газами, хотя их и подвергали давлениям до 3000 атмосфер. Казалось, что эти газы вообще невозможно получить в виде жидкостей, что они газы по самой своей природе и не могут существовать в другом состоянии.

Однако это впечатление было ошибочным. В 1869 г. английский физик Эндрьюс, производя опыты с углекислым газом, обнаружил, что хотя его довольно легко получить с помощью давления в жидком виде, однако, если повысить температуру выше 31,1° Цельсия, то превратить углекислый газ в жидкость становится невозможным; углекислый газ как будто бы превращается в постоянный газ.

Этим же свойством, оказалось, обладают и все остальные газы. Для каждого газа, считался ли он постоянным или нет, существует такая температура, выше которой он не существует ни при каком давлении в жидком состоянии. Эта температура была названа *критической* температурой.

Для того, чтобы превратить какой-нибудь газ в жидкость, необходимо сначала понизить его температуру так, чтобы она стала меньше критической.

Те газы, которые считались постоянными, просто имели очень низкую критическую температуру. Так, впоследствии выяснилось, что критическая температура кислорода 155,2°, азота 123,2°, а водорода даже 33,1° от абсолютного ноля. Такие температуры не могли быть получены никакими охладительными смесями, а потому эти газы и не удавалось ожижать.

Для того, чтобы все же получить их в жидком виде, надо было придумать какой-нибудь способ предварительно понизить их температуру и сделать ее меньшей, чем критическая.

Таким образом, впервые в 1877 г. Коллет и Пикте получили при температуре в —183° Цельсия (около 90° абс.) жидкий кислород. Они использовали тот факт, что если сжатому газу дать быстро расшириться, то его температура резко понижается.

На этом основан очень эффектный опыт,

Углекислый газ, которым, например, газируют воду, обычно хранится в стальных баллонах, где он находится под большим давлением. Если открыть кран такого баллона и дать газу свободно выходить наружу, то из бьющей струи начнет выпадать снег. Это, конечно, не обычный снег, а не что иное, как твердая углекислота, которая образовалась потому, что при расширении углекислоты, выходящей из баллона, очень сильно понизилась температура. Твердую углекислоту обычно таким способом и получают. Она обычно называется „сухим льдом", так как испаряясь, она не оставляет после себя лужи, как это происходит с обычным льдом. Такое свойство сухого льда делает его очень удобным для сохранения продуктов на холоду.

Так же, как и углекислота, охлаждаются при расширении и другие газы. Таким способом были превращены в жидкости один за другим все постоянные газы. В 1895 г. немецкий инженер Линде построил машину, с помощью которой стало возможно получать жидкий воздух в очень больших количествах. С этих пор жидкий воздух перестал быть редкой жидкостью, драгоценные капли которой можно было получать лишь в немногих первоклассных лабораториях. Жидкий воздух сейчас можно увидеть на многих заводах, почти в любой мало-мальски устроенной лаборатории физической, химической, биологической и любой другой.

Интересно отметить, что самый дешевый жидкий воздух получается на машине, изобретенной акад. П. Л. Капицей. За это изобретение, сделанное им несколько лет назад, ему была присуждена в 1940 г. Сталинская премия.

Для неискушенного зрителя жидкий воздух представляет удивительную жидкость. Вылитая на пол или в обычный стакан, она начинает бурно кипеть, подобно воде на горячей плите. Стакан при этом покрывается толстым слоем льда. Если опустить в жидкий воздух резиновый мячик или трубку, то резина теряет свою упругость и при ударе об пол разбивается на мелкие куски. Ее можно растолочь в ступке и получить резиновый порошок. Так же разбивается замороженное яблоко.

С жидким воздухом можно производить множество эффектных опытов, но, конечно, жидкий воздух получают не для этих красивых, но бесполезных экспериментов. В жидком воздухе нуждаются сейчас многие отрасли промышленности.

Одним из самых интересных и в то же время одним из самых важных применений жидкого воздуха является получение из него кислорода. Пятая часть окружающей нас атмосферы есть кислород. В этом кислороде весьма сильно нуждается и медицина и техника. Летчик, отправляясь в высотный полет, берет с собой баллон с кислородом. Тяжело больному дают дышать из кислородной подушки. Кислород употребляют при автогенной сварке. Уголь, смоченный жидким кислородом, представляет собой сильное взрывчатое вещество, которым начинают широко пользоваться в горном деле.

Но как получить кислород? Химическим путем — это безнадежно дорого. Проще всего было бы добывать его прямо из воздуха. Однако отделить кислород от азота, который составляет основную часть атмосферы, очень трудно. Здесь-то на помощь приходит тот факт, что испаряющийся жидкий воздух содержит больше азота, чем обычная атмосфера. Происходит это потому, что температура кипения жидкого кислорода (90,3° абс.) выше температуры, при которой кипит жидкий азот (77,5° абс.). Поэтому, если испарять жидкий воздух, то первым будет испаряться более летучий азот, а оставшийся жидкий воздух будет обогащаться кислородом. Если несколько раз испарять и опять ожижать одну и ту же порцию воздуха, то можно получить в остатке почти совсем чистый кислород. Этот способ аналогичен получению бензина из нефти путем ее перегонки.

Испарением при низких температурах получают из жидкого воздуха и другие газы, например, аргон и неон, которыми наполняют синие и красные трубки световых реклам.

Хотя жидкий воздух, имеющий температуру около 80° абс., и является для техников самой холодной жидкостью, с какой им приходится иметь дело, однако физики считают эту жидкость еще довольно теплой. Она ведь меньше, в 4 раза холоднее горячего чая, температура которого, примерно, 330° абс. Физиков интересуют значительно более низкие температуры.

Первый, кому удалось намного понизить температуру, был англичанин Дьюар, который в 1898 г. получил жидкий водород. Имя Дьюара сейчас получили изобретенные им сосуды для хранения ожиженных газов. Эти сосуды имеют двойные посеребренные стенки, между которыми выкачан воздух. В небольших таких сосудах Дьюара, или, как их просто называют, в дьюарах, жидкий воздух можно хранить по нескольку суток. Заставляя жидкий водород кипеть под пониженным давлением, удается получить температуры до 15° абс. Это уже температура в 20 с лишним раз меньшая, чем комнатная. Такую жидкость уже можно по праву считать довольно холодной.

Однако настоящий холод стало возможным получать только тогда, когда в 1908 г. голландскому физику Каммерлинг-Оннесу

удалось превратить в жидкость последний из газов — гелий. Это была поистине самая холодная жидкость. Ее температура оказалась равной приблизительно 4,5° абс. Со времени получения жидкого гелия начала развиваться целая новая область физики — физика низких температур.

Подобно жидкому воздуху для техников, гелий представляет для физиков основной источник низких температур. С помощью кипящего жидкого гелия удается довести температуру до 0,7° абс. Это уже ниже комнатной температуры более, чем в 400 раз!

Даже сейчас изготовление жидкого гелия совсем не такая простая задача. Во всем мире до войны было 8 машин для получения жидкого гелия, только 8 лабораторий могли заниматься физикой низких температур. Две из них находятся в нашем Союзе: одна у акад. П. Л. Капицы в Институте физических проблем — самая мощная в мире, другая — в Украинском физико-техническом институте. Одна из установок находится в Лейдене в Голландии, в лаборатории, основанной еще Каммерлинг - Оннесом. Две установки находятся в Кембридже и Оксфорде в Англии, одна—в Берлине и одна—в Торонто в Канаде. В последнее время такая машина была построена в одном из университетов в США. Остальные страны вовсе не имеют гелиевых машин.

При температуре жидкого гелия физики натолкнулись на многие новые замечательные явления. В 1911 г. Каммерлинг - Оннес, измеряя электрическое сопротивление ртути, обнаружил, что как только температура понижалась до 4,1° абс., ртуть неожиданно полностью теряла электрическое сопротивление.

Если в кольцо, сделанное из замороженной ртути, каким-нибудь образом пустить ток, то пока ртутное кольцо будет лежать в гелии, ток не прекратится.

Когда это явление, получившее название *сверхпроводимости*, было открыто, оно казалось столь неправдоподобным, что многие физики не поверили открытию Каммерлинг - Оннеса. Для того, чтобы рассеять недоверие, в лаборатории Каммерлинг-Оннеса было изготовлено кольцо из свинца, который также становится сверхпроводящим при низких температурах. Это кольцо было погружено в сосуд с жидким гелием. Потом в этом кольце был создан электрический ток. В таком виде кольцо вместе с сосудом было отправлено в другой город, где находилась группа физиков, не веровавших в открытие Каммерлинг - Оннеса. Когда они вскрыли полученную посылку и обнаружили, что в кольце продолжал итти ток, то им пришлось оставить свое недоверие.

Изучение сверхпроводимости остается и по сие время одной из самых увлекательных проблем в современной физике.

Жидкий гелий не только дал возможность физикам начать изучение новой замечательной области, он неожиданно обнаружил очень странные и интересные свойства.

Эти свойства, получившие название сверхтекучести, были открыты у нас в Союзе физиком П. Л. Капицей.

Самая холодная жидкость однако не есть все же самое холодное из всего, что может существовать в приборе физика.

Как мы уже говорили, с помощью жидкого гелия физикам удалось получить температуры до 0,7° абс. Но это их не удовлетворило, и они пошли еще дальше. Оказалось, что некоторые вещества обладают любопытным свойством. Если их поместить между полюсами очень сильного магнита и потом резко выдернуть оттуда, то они очень сильно охлаждаются. Этот метод был впервые осуществлен в 1933 г. Димоном и Мак Дугалем, которые получили при этом температуру в 0,25° абс. Через 2 года Гаас и Вирсма установили до сих пор непревзойденный рекорд. Им удалось получить температуру, всего на 0,0044°, отличающуюся от абсолютного ноля.

Нет сомнения, что и этот предел окажется перейденным, и физики смогут еще ближе подойти к абсолютному нолю.

---

[1] См. статью Я. Смородинского, помещенную в этом же номере.

ГЕЛИЙ

Я. Смородинский

В 1868 г. английский астроном Локьер наблюдал в Индии, вместе с другими астрономами, полное солнечное затмение. Занимаясь изучением солнечной атмосферы, он рассматривал ее в спектроскоп. Спектр, который он при этом видел, как и все спектры раскаленных газов, состоял из множества линий различных цветов.

Эти линии обязаны своим существованием различным химическим элементам, которые в газообразном состоянии находятся в атмосфере солнца.

Известно, что каждый элемент имеет свой, только ему одному принадлежащий спектр — определенный набор линий. Не может быть такого случая, чтобы два различных элемента имели бы одинаковые спектры. Поэтому по спектру можно безошибочно обнаруживать химические элементы. Присутствие малейших следов того или иного элемента в каком-нибудь веществе немедленно сказывается в том, что в спектре вещества появятся линии, принадлежащие этому элементу. Именно поэтому для изучения солнечной атмосферы, для выяснения ее состава первым делом обращаются к исследованию ее спектра. И вот, наблюдая такой спектр, Локьер (независимо от него и француз Жансан) совершенно неожиданно обнаружил, что рядом с хорошо известными двумя желтыми линиями, принадлежащими натрию, находится еще одна третья желтая линия.

Это было удивительно. Спектр натрия был изучен очень хорошо. Было известно, что в этом спектре желтых линий, несомненно, только две и никакой третьей не может появиться. С другой стороны, и ни у какого другого элемента не было известно такой линии. Оставалось только допустить, либо, что спектры на солнце отличаются от спектров на земле, либо же, что эта новая желтая линия не принадлежит ни одному из известных в то время элементов, что на солнце существует еще один неизвестный элемент, пары которого и порождают эту линию.

Первое объяснение было очень неправдоподобным. До сих пор все линии в спектре солнечной атмосферы удавалось отождествить с соответствующими линиями в спектрах известных элементов — они были в точности такими же, какие наблюдались в спектрах этих элементов на земле. Было бы странным, что вдруг одна какая-то желтая линия появляется только на солнце.

Поэтому Локьер, в конце концов, склонился ко второму объяснению происхождения этой удивительной линии — к тому, что действительно на солнце существует элемент, которого на земле никто не видел. Этот новый элемент, о котором только и было известно, что в его спектре находится желтая линия, лишь немного сдвинутая по отношению к линиям натрия, Локьер назвал г е л и е м, от греческого слова „гелиос" — что значит солнце.

Сразу же после открытия Локьера стали пытаться обнаружить гелий и на земле. Но все эти попытки не приводили к успеху. Казалось, что гелий существует только на солнце. Лишь в 1895 г. английский химик Рамзай, нагревая минерал уранит, наконец получил гелий. За несколько лет до Рамзая, еще в 1891 г., Хиллебрандт также заметил, что при нагревании этого минерала выделяется какой-то газ, которой он, однако, счел за азот, отметив, что со спектром этого азота дело обстоит не совсем в порядке, что в нем имеются какие-то странные линии.

Только после того, как Рамзай вновь получил этот газ, было показано, что спектр его содержит ту же самую желтую линию, которую Локьер увидел в спектре солнца и которой не было ни в одном из известных спектров.

Таким образом оказалось, что странный спектр, который получил Хиллебрандт, был странным вовсе не потому, что у него был необычный азот, а потому, что этот газ был совсем не азотом, а тем самым солнечным газом, который уже отчаивались найти.

Так, через 27 лет после того, как он был открыт на солнце, гелий был обнаружен и на земле.

И тогда-то оказалось, что он вовсе не так уже редок, как думали раньше. Атмосфера, которая нас окружает, содержит гелий, правда, в весьма скудных количествах. В 1000 кубических метрах воздуха находится только 5 $м^3$ гелия. Гелий содержится также во многих минералах, он входит в состав многих газовых источников. Вероятно, на земле его имеется не меньше, чем на солнце.

Чем же оказался гелий?

Это — газ без цвета и запаха, похожий на воздух, но только значительно легче его. Из всех газов только водород обладает еще меньшим удельным весом. Гелий по своим химическим свойствам принадлежит к числу так называемых благородных (или инертных) газов. Это название они получили потому, что они не вступают в реакцию ни с какими другими элементами. К числу таких газов, кроме гелия, принадлежат еще, например, неон и аргон — газы, которыми наполняют светящиеся красные и синие трубки реклам.

Одним из следствий инертности гелия является то, что он не соединяется с кислородом, т. е. не горит. А это в сочетании с легкостью гелия делает его весьма удобным для наполнения дирижаблей. Такие дирижабли совершенно безопасны в отношении взрыва, который представляет весьма реальную опасность в случае дирижаблей, наполненных водородом.

Правда, гелий все же в 2 раза тяжелее водорода, а потому подъемная сила дирижабля, наполненного гелием, меньше, чем подъемная сила дирижабля, который наполнен водородом. Однако нетрудно видеть, что разница здесь совсем уж не такая значительная. Так как 1 $м^3$ воздуха весит 1,29 кг, а 1 $м^3$ водорода 0,09 кг, то подъемная сила этого количества водорода равна 1,29 кг — 0,09 кг = 1,2 кг. В то же время вес 1 $м^3$ гелия равен 0,18 кг и его подъемная сила 1,29 кг — 0,18 кг = 1,11 кг, т. е. всего на 8% меньше, чем подъемная сила водорода. Если еще к этому прибавить, что водород значительно быстрее просачивается через оболочку дирижабля, чем гелий, а потому водород надо добавлять чаще, чем гелий, то станет ясно, почему даже при большой стоимости гелия наполнение им дирижаблей вместо водорода является выгодным.

Но для того, чтобы наполнять дирижабли, гелий надо иметь в весьма значительных количествах.

Добывать его в таких количествах из воздуха — задача для современной техники совершенно безнадежная. В несколько больших количествах гелий может быть добыт из некоторых минералов, но и эти количества весьма невелики. Основным способом получения гелия является добыча его из газовых источников, в которых он содержится. Таких источников особенно много в США. Есть они и в СССР. В США производство гелия достигло столь больших масштабов, что сейчас себестоимость 5 $м^3$ метров гелия составляет всего 1 доллар.

В первые годы, последовавшие за открытием гелия, никто не обнаруживал у него каких-либо особенностей, которыми бы он сильно отличался от других газов. Однако дальнейшие исследования обнаружили у гелия множество удивительных свойств, которые надолго поставили его в центре внимания физиков.

Все дело началось с попыток получить гелий в жидком виде.

Известно, что конец прошлого века был отмечен в физике тем, что один за другим были получены в жидком виде различные газы, которые до этого не могли быть ожижены и даже получили, поэтому, особое название „постоянных газов", ибо считалось, что они по самой своей природе газы и не могут быть обращены в жидкость. В 1877 г. Коллет и Пикте получили впервые жидкий кислород. В 1883 г. был получен Вроблевским и Ольшевским жидкий азот, а в 1888 г. Дьюаром получен и жидкий водород.

Только гелий еще долгое время не поддавался ожижению. Лишь в 1908 г. голландский физик Каммерлинг-Оннес получил, наконец, и жидкий гелий. Для этого ему пришлось понизить температуру, примерно, до 4 абсолютных градусов.

При температуре жидкого гелия все остальные газы не только ожижались, но даже замерзали, ибо даже водород замерзает при 14° абсолютных [1].

Жидкий гелий есть самая холодная жидкость, которая может только существовать в природе. Известно, что получение холода связано почти всегда с явлением охлаждения сжатых газов при их расширении. Так как гелий превращается в жидкость при самой низкой температуре, дольше всех газов оставаясь в газообразном состоянии, то расширение гелия можно производить при самых низких температурах, значительно более низких, чем те температуры, при которых еще можно работать с другими газами. Поэтому, с помощью гелия могут быть получены наиболее низкие температуры.

Гелию обязана существованием одна из

---

[1] Абсолютный градус — температура, отсчитываемая от абсолютного нуля (—273°C). Величина абсолютного градуса равна градусу Цельсия. Подробно об этом читатель может прочесть в статье Л. Ландау.

самых увлекательных областей физики — физика низких температур. Почти все исследования вблизи абсолютного нуля производятся в жидком гелии и сейчас с его помощью получают температуры всего на 0,7°, отличающиеся от абсолютного нуля.

Гелий не только дал возможность вести исследования при низких температурах и открыть в этой области замечательные явления, но и сам он при низких температурах обнаружил чрезвычайно загадочные и интересные свойства. Поэтому гелий занял в этой области физики значительное место не только как источник холода, но и как один из основных объектов исследования.

Получив жидкий гелий, Каммерлинг-Оннес сделал попытку, еще больше понизив температуру, получить твердый гелий. Но сколько он ни понижал температуру, гелий не замерзал. Лишь тогда, когда он стал охлаждать гелий под давлением около 25 атм., ему удалось получить гелий в твердом виде. Как только давление уменьшалось, гелий сейчас же возвращался в жидкое состояние. Без применения давления никаким охлаждением нельзя было заставить гелий замерзнуть, он остается жидким вплоть до самого абсолютного нуля. Это — единственная, существующая в природе, жидкость, которая может существовать не замерзая, при сколь угодно низких температурах. Атомы гелия ни при каких температурах не выстраиваются в стройную кристаллическую решетку твердого тела, как это делают атомы всех других элементов, а продолжают беспорядочное движение даже при абсолютном нуле.

Такое странное поведение гелия, естественно, привело к мысли, что свойства жидкого гелия при таких низких температурах могут оказаться существенно отличными от свойств других жидкостей.

Так оно и оказалось.

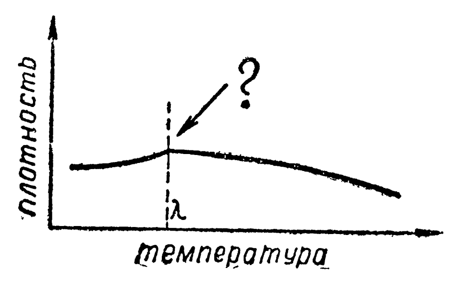


Рис. 1

Уже в 1911 г. Камерлинг-Оннес обнаружил на первый взгляд мало чем замечательный факт. Измеряя плотность гелия при различных температурах, он заметил, что кривая зависимости плотности гелия от температуры в одном месте, при вполне определенной температуре, имеет излом (рис. 1):

Так как во всех известных случаях плотность жидкостей изменяется плавно, то существование излома такой кривой у жидкого гелия заставило заподозрить, что при этой температуре с гелием происходит что-то существенное.

Аналогичные странности были обнаружены и при других опытах.

Измеряя теплоемкость жидкого гелия, т. е. количество тепла, которое нужно сообщить гелию, чтобы его температура повысилась на 1°, физики обнаружили, что эта теплоемкость при температуре, соответствующей излому кривой плотности, также меняется скачком.

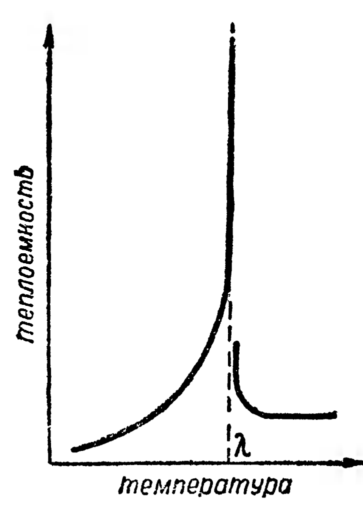


Рис. 2

Кривая изменения теплоемкости гелия с температурой имеет вид, изображенный на рис. 2. Эта кривая отдаленно напоминает греческую букву „лямбда“ λ, а потому и температура, при которой теплоемкость гелия изменяется скачком (а кривая плотности имеет излом), получила название лямбда-точки. Эта температура равна приблизительно 2° абс.

Существование такой лямбда-точки, вообще говоря, еще не было чем-то особенным. Сам по себе этот факт и не заслуживал бы, по крайней мере со стороны читателя не-физика, такого большого внимания, если бы в дальнейшем не оказалось, что в лямбда-точке с гелием происходит удивительное превращение.

При температуре выше лямбда-точки жидкий гелий похож на все остальные жидкости и ничем особенным не замечателен. Его обычно называют гелием I, в отличие от гелия II — жидкого гелия при более низких температурах. Этот-то гелий II обычно и имеют в виду, когда говорят о замечательных свойствах гелия.

На такие свойства впервые натолкнулся в

1935 г. голландский физик Кеесом, работавший в лаборатории, которую в свое время основал Каммерлинг-Оннес.

Кеесом измерял теплопроводность гелия, его способность проводить тепло. Известно, что, вообще говоря, жидкости очень плохо проводят тепло. Если положить на дно пробирки с водой кусок льда и нагревать верх пробирки на огне, то легко можно довести воду в верхней части пробирки до кипения, в то время как на дне ее будет лежать нерастаявший лед.

Металлы, наоборот, проводят тепло очень хорошо, причем лучшими проводниками тепла являются медь и серебро. (Вспомните, как быстро нагревается серебряная ложечка, опущенная в стакан горячего чая.)

с водой на стол, то вода из него не выльется, если только стакан целый и если он не опрокинется. Это кажется столь очевидным, что иного мы себе и не можем представить.

Но если бы в стакан был налит гелий II, то эти наши ожидания оказались бы обманутыми. Гелий тонким, невидимым для глаза слоем (толщина которого менее десятитысячной доли миллиметра), потечет по стенкам и через верх выльется из стакана (рис. 3).

Если в сосуд с гелием опустить пробирку, также наполненную гелием, так, чтобы уровень гелия в пробирке был ниже уровня его в сосуде, то гелий, опять-таки, через верх потечет в пробирку и будет течь до тех пор, пока уровни не сравняются. То же происходит в том случае, когда уровень в пробирке

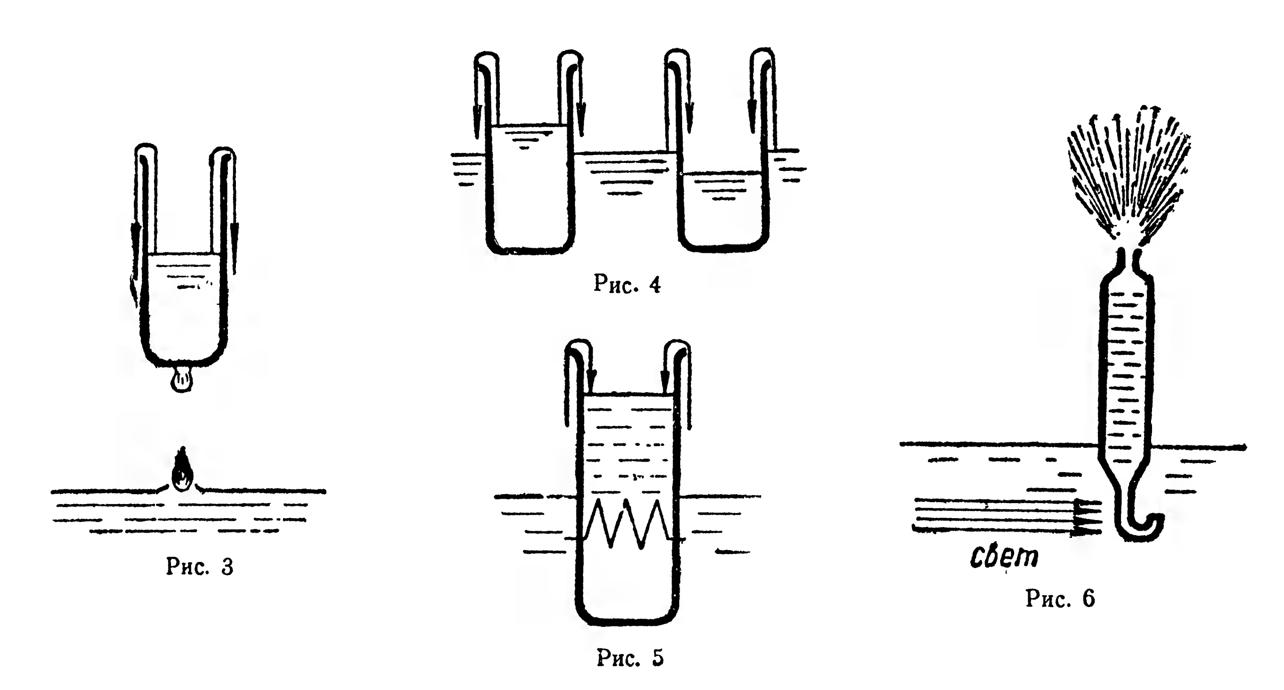


Рис. 3

Рис. 4

Рис. 5

Рис. 6

Когда в приборе у Кеесома температура была выше лямбда-точки и в нем находился гелий I, то температура выравнивалась очень медленно, как и следовало ожидать, ибо тепло передавалось через жидкость. Но когда температура опускалась и гелий I превращался в гелий II, то выравнивание температуры происходило мгновенно. Оказалось, что гелий II почти в 3 миллиона раз лучше проводит тепло, чем гелий I. Такой чудовищной теплопроводностью не обладают даже металлы. Медь при комнатной температуре проводит тепло почти в 200 раз хуже, чем гелий II. Гелий II оказался не только самой теплопроводной жидкостью, но во много раз более теплопроводным, чем все существующие в природе тела.

Дальнейшие открытия, связанные с гелием II, были не менее странными. Мы хорошо себе представляем, что если поставить стакан

вначале был выше уровня в сосуде (рис. 4). Удивительные вещи произойдут с гелием и в том случае, если гелий в пробирке мы несколько нагреем с помощью спиральки, по которой идет ток (рис. 5). В этом случае гелий в пробирке установится на более высоком уровне, чем в сосуде.

На этом свойстве гелия основан очень красивый опыт. Если слегка нагревать нижнюю часть трубочки, опущенной в гелий (рис. 6), то гелий потечет в эту трубочку с такой силой, что из ее верхнего конца начинает бить фонтан в несколько сантиметров высотой.

Но наиболее замечательное свойство гелия, которое послужило ключом к пониманию всех его аномалий, было открыто в 1938 г. советским физиком Капицей, исследовавшим вязкость жидкого гелия.

Если наблюдать, как быстро вытекает через небольшое отверстие жидкость, налитая в какой-нибудь сосуд, то мы легко заметим, что вода выливается значительно быстрее, чем глицерин или мед. Мы говорим, что мед более вязок, чем вода. Легко себе представить, что двигаться в меде было бы значительно труднее, чем в воде. Вспомните, насколько труднее размешивать ложкой мед, чем чай. Это свойство жидкостей задерживать, тормозить движущееся в ней тело и препятствовать движению ее самой и называют вязкостью жидкости.

Вязкость жидкого гелия измеряли и до Капицы, но эти измерения производились по сопротивлению, которое оказывает жидкий гелий движущемуся в нем телу. При этом ничего странного не было обнаружено. Вязкость гелия II была лишь немного меньше вязкости гелия I.

Капица же измерял вязкость гелия, наблюдая скорость вытекания гелия из пробирки через узкую щель. Казалось бы, что эти измерения должны были дать для вязкости гелия то же значение, которое получалось раньше из измерений сопротивления.

Во всех известных случаях так всегда и было. Вязкость, измеренная обоими способами, всегда оказывалась одной и той же. Так было во всех случаях, кроме опыта Капицы.

Когда в пробирке у Капицы находился гелий I, вытекание происходило крайне медленно, так как щель была очень узка. Но как только температура понижалась и в пробирке оказывался гелий II, вытекание происходило практически мгновенно.

Вязкость гелия II, исследуемая таким способом, вопреки прежним измерениям, оказалась столь ничтожной, что ее вовсе не удавалось измерить. Можно было только сказать, что она по крайней мере в миллиард раз меньше вязкости воды при комнатной температуре. Для сравнения заметим, что вязкость воды „всего“ в 400 раз меньше вязкости глицерина.

Такая малая вязкость гелия послужила причиной того, что гелий II получил название сверхтекучей жидкости.

Открытие сверхтекучести гелия позволяет объяснить явления перетекания гелия через верх пробирки. Всякая жидкость, которая смачивает стекло, поднимается и течет по стенкам сосуда тонким, невидимым для глаза, слоем. Однако, если в стакан налита вода, то такое течение будет происходить крайне медленно из-за ее вязкости. Стакан, налитый до половины, опустошился бы столь медленно, что это и вовсе не было бы заметно.

Другое дело гелий II. Благодаря отсутствию у него вязкости, ему ничто не препятствует течь по стенкам, и он, покрыв стенки пробирки тонким слоем с обеих сторон, выливается наружу по этому собственному слою, как по сифону.

Но, объяснив одно явление, опыты Капицы запутывали, казалось, дело в другом отношении. Их результат был противоположен старым измерениям вязкости, в правильности которых не приходилось однако же сомневаться.

С другой стороны, нельзя было сомневаться и в правильности результатов Капицы.

Объяснение всем этим противоречиям удалось найти другому советскому физику — Ландау. Данная им теория основывается на так называемой квантовой механике — одной из наиболее замечательных, но и наиболее сложных для понимания, теорий современной физики.

Было бы, конечно, бесполезно в рамках этой статьи излагать теорию Ландау. Мы только набросаем ту своеобразную картину, которая вырисовывается на основании этой теории.

Когда мы наблюдаем течение в обычной жидкости, то мы можем утверждать, что вместе с потоком жидкости переносится и тепло. Если, например, мы наливаем из кипящего самовара чай, то мы знаем, что температура текущей воды такая же, как в самом самоваре, если только вода не успевает остынуть по дороге. Вместе с водой из самовара уносится определенная порция „связанного“ с ней тепла. Это настолько очевидно, что об этом кажется даже излишним напоминать.

Но как ни очевидно такое утверждение, оно в случае гелия II неверно. В гелии II, оказывается, может существовать такое движение, которое не связано с переносом тепла.

Если бы в самовар можно было налить гелий II, то вытекающий гелий отнюдь не имел бы температуры гелия в самоваре, а практически вовсе не содержал бы тепла. Для этого только необходимо, чтобы кран был достаточно узок — вроде щели в опытах Капицы.

Это совершенно своеобразное течение в гелии II не только не переносит тепла, но и не испытывает сопротивления своему движению. Наряду с таким движением в гелии может существовать одновременно и обычное „теплое“ движение, несущее с собой тепло и вязкое по своей природе. Своеобразие картины, которую дает теория, и заключается в том, что в гелии II одновременно происходят оба вида движения, в то время как в других жидкостях существует только обычное — вязкое — движение.

Такая картина позволяет объяснить все свойства гелия.

Прежде всего перестали казаться непримиримыми результаты различных способов

измерения вязкости гелия. При вытекании гелия через узкую щель происходит только сверхтекучее движение, ибо второе, обычное, не может происходить, так как оно тормозится стенками этой узкой щели. Именно поэтому в опытах Капицы гелий целиком оказывался сверхтекучим. Иначе обстоит дело, когда в гелии II движется какое-нибудь тело. Тогда вокруг этого тела в гелии возникают оба вида движения как обычное, так и сверхтекучее. Так как возникает и обычное движение, то тело обязательно будет испытывать сопротивление, ибо только сверхтекучий поток не давит на тело.

Становится также понятным, почему гелий так хорошо проводит тепло. Если в гелии в каком-нибудь месте создается более высокая температура, то при этом возникают оба вида потоков. Сверхтекучий поток, не несущий с собой тепла, направляется в сторону источника тепла, а „теплый“ поток устремляется в обратную сторону от нагретой жидкости к более холодной. Таким образом от нагретой части течет жидкость с теплом, а в обратную сторону тепло не переносится, хотя поток жидкости и существует. В результате тепло как бы течет от нагретой части к холодной и потому температура и выравнивается крайне быстро. Такие потоки действительно можно видеть на таком красивом опыте, сделанном Капицей (рис. 7). Если нагревать гелий внутри маленькой колбочки, опущенной в сосуд также с гелием, то маленькое крылышко, находящееся перед ней, тотчас же отклонится от кончика колбочки. Отклонение это объясняется тем, что, как мы говорили, из нагретого гелия внутри колбочки возникает „теплое“ течение в сосуд, которое и отклоняет крылышко. Сверхтекучее течение, которое направляется внутрь колбочки, как мы говорили, не оказывает сопротивления помещенным в него телам, а потому и не действует на крылышко. Такие потоки возникают только в гелии II. Если бы мы имели дело с обычной жидкостью, а не с гелием II, то с крылышком, очевидно, ничего бы не произошло[1].

[1] Интересно отметить, что американский журнал прикладной физики в своем традиционном ежегодном обзоре отмечает работы Капицы и Ландау, как одни из наиболее выдающихся физических открытий, сделанных в 1941 г.

В заключение вернемся к нашему самовару. Мы говорили, что вытекающий из него гелий вовсе не несет с собой тепла. С обычным самоваром мы, конечно, не можем произвести опыта, но в несколько измененном виде такое явление можно не только наблюдать, но как раз на этом принципе открывается совершенно новая возможность получения весьма низких температур.

Надо только проталкивать гелий II через маленькое отверстие. Тогда выходящий гелий почти не уносит с собой тепла. Температура остающегося гелия при этом повышается, так как то же количество тепла распределяется теперь между меньшим количеством гелия, а температура выходящего гелия может быть сделана, по крайней мере принципиально, как угодно малой.

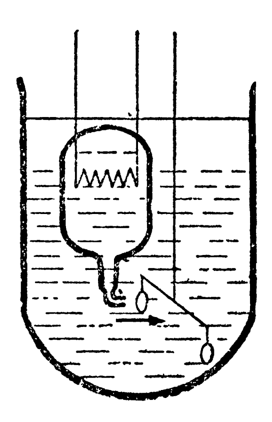


Рис. 7

Такие опыты начал проводить в 1940 г. Капица, и результаты их были обнадеживающими. Разразившаяся война на время прекратила дальнейшие работы в этой увлекательной области, но только на время. Не далек день, когда прерванные исследования возобновятся, и мы узнаем о новых открытиях и достижениях в физике и, в частности, в этой области, где советские ученые достигли столь прекрасных результатов — мы говорим о физике вблизи абсолютного нуля.

Поверхность металла

Д-р физико-математических наук

П. Д. Данков

Поведение металлического изделия в значительной степени определяется состоянием его поверхности. Шероховатость поверхности патрона препятствует правильной работе подающего механизма винтовки; отсутствие защитной окраски железной крыши приводит к быстрому ее износу под влиянием интенсивно развивающегося ржавления; стальные ножи, вилки, ложки, лишенные защитного покрова из никеля, быстро становятся жертвой разъедающих элементов пищи, воздуха и воды; высокая степень микрогладкости зеркала приводит к замечательным качествам этого предмета, широко применяемого в быту и в научной и технической практике. Эти немногие примеры ни в какой мере не исчерпывают многообразие случаев, где состояние поверхности металлического предмета оказывается существенно важным как при его использовании, так и для его долговечности.

Большой практический и теоретический интерес имеют тончайшие пленки окислов, возникающие на металлах при их соприкосновении с воздухом. Они противодействуют контакту металла со свежими порциями кислорода или других активных химических реагентов, вызывающих разъедание (коррозию) металла. Явление коррозии металлов представляет собой широко распространенное бедствие. Так, например, почти треть годовой добычи железа и стали выбывает из строя за счет коррозии (ржавления) металлических изделий, находящихся в обращении.

Обнаружение защитной пленки, вследствие ее малой толщины, оказалось задачей трудной. Уже более ста лет тому назад Фарадей, исходя из целого ряда наблюдений, пришел к выводу, что на железе образуется тонкая пленка химического соединения металла с кислородом — оксида, обладающего защитными свойствами. Это явление наблюдалось и в случае других металлов (никель, хром, алюминий и др.) и вызывало усиленный интерес со стороны многих поколений химиков и физиков. Однако конкретных и прямых доказательств существования пленок на указанных металлах в течение 100 лет получить не удалось. Эта неудача вызывала к жизни различные объяснения поведения металлов, соприкасавшихся с воздухом, исключающие присутствие оксидной пленки на поверхности. В течение последних десятилетий стойким и почти единственным приверженцем пленочной гипотезы и ее обоснователем являлся акад. В. А. Кистяковский. В 1927 г. пленочная гипотеза получила большое подкрепление в опытах английского ученого Эванса, которому удалось изолировать оксидную пленку, возникающую на железе и других металлах, и увидеть ее.

Эти опыты по изоляции пленок требовали много экспериментальной изобретательности и ловкости, так как приходилось оперировать с весьма тонкими объектами, толщина которых достигала лишь 0,001—0,01 микрона[1]. В качестве орудия для выполнения этой работы здесь нельзя было употребить обычные лабораторные инструменты, хотя бы и очень тонкие. Изоляция оксидной пленки осуществлялась электрохимическим путем без воздействия какого-либо инструмента на поверхность металла. Железо электрохимически растворялось, а поверхностная пленка, состоящая из нерастворимого оксида, оставалась нетронутой и в виде прозрачного, слабожелтого хрупкого мешочка могла быть подвергнута физико-химическому исследованию.

Опыты Эванса, позволившие обнаружить оксидные пленки не только на железе, но и на других металлах, вызвали все же некоторое сомнение; высказывалось предположение, что полученные Эвансом изолированные пленки возникают во время растворения металла. Эти сомнения были полностью устранены четыре—пять лет тому назад, когда удалось обнаружить оксидную пленку электронографическим методом, основанным на свойстве электронов закономерно рассеиваться при встрече с закономерно расположенными атомами, подобно тому, как рассеиваются рент-

[1] Микрон = 0,001 мм. Сокращенное обозначение: μ.

геновские лучи[1]. Но, в отличие от последних, электронный пучок проникает в исследуемый образец на очень малую глубину, до

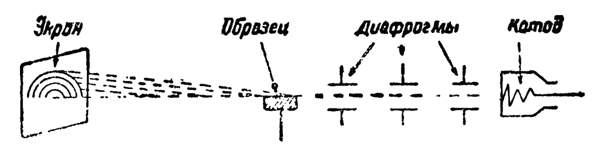


Рис. 1. Схема электронографа

0,01 микрона. Это позволяет делать заключения о строении самых тонких поверхностных слоев вещества. Рис. 1 поясняет постановку электронографических опытов. Из катода — вольфрамовой спирали, накаленной до светлокрасного каления, испускаются электроны, которые в электрическом поле между катодом и диафрагмой приобретают большую скорость, проходят через диафрагмы и в виде тонкого пучка с диаметром в 0,1 мм попадают на образец, где и рассеиваются. Если поверхностный слой образца представляет собой собрание мелких кристалликов, т. е. физических тел с закономерно расположенными атомами, то рассеянные пучки электронов будут вырисовывать на флюоресцирующем экране или на фотопластинке картину из полуколец — так называемую электронограмму (рис. 2). Величина радиусов этих колец, их отношения и степень яркости различных колец тесно связаны со структурой исследуемого образца. Поэтому соответствующие измерения позволяют сделать существенные заключения о строении и природе поверхностного слоя.

Исследуя описанным методом поверхность железа, американский ученый Нельсон и, независимо от него, Данков и Шишаков в СССР действительно обнаружили на поверхности, до этого находившейся в соприкосновении с воздухом, тончайшую оксидную пленку, построенную из кристалликов кубического оксида железа ($\gamma - Fe_2O_3$).

Так как пленка оксида была чрезвычайно тонка, то полученные электронограммы, наряду со сведениями о поверхностном слое, давали сведения и о металле, находившемся на некоторой глубине. Еще более четкие результаты были получены для оксидных пленок, изолированных по методу Эванса. Благодаря своей ничтожной толщине, они были прозрачны для падающего и рассеянного пучков электронов и, кроме того, свободны от примеси металлического железа. Поэтому полученные от них электронограммы (рис. 3) содержали систему колец, характерных только для оксида железа. Этим был окончательно разрешен вопрос о невидимой защитной пленке на железе, играющей основную роль в явлении устойчивости железных и стальных изделий, противостоящих действию кислорода воздуха, воды и разнообразных других химических агентов.



Рис. 2. Электронограмма первичного оксида на поверхности железа

На практике очень важно усилить защитные свойства оксидной пленки на железе и стали. Неокрашенные части различных механизмов, как например, винтовок, пулеметов,



Рис. 3. Электронограмма изолированной пленки оксида железа

и т. д., оказывается выгодным обрабатывать в специальных окислительных растворах при повышенной температуре. При этом оксидная пленка утолщается, и, что важнее, в ней уменьшается число пор и разрывов.

Защитная роль тончайших невидимых оксидных пленок особенно хорошо выражена в случае нержавеющих сталей, представляющих собой сплав железа, хрома, никеля и небольших количеств углерода. Эти стали имеют широкое промышленное применение и получили распространение и известность в домашнем обиходе. Блестящая поверх-

[1] См. статью Б. Исаева и Н. Добротина: „Рентгеновские лучи и их применение“ („Наука и жизнь“ № 2—3 за 1942 г.).

ность изделий из нержавеющей стали привлекает внимание не только по эстетическим причинам, но, главным образом, в силу долговечности блеска и чистоты их поверхности. Полированное железное изделие, находящееся под воздействием влажного воздуха, в присутствии даже слабых кислот или слабых растворов солей сравнительно скоро покроется слоем ржавчины, а в целом ряде точек поверхности ржавление распространится в глубину; после очистки изделия в этих местах обнаружатся глубокие впадины. Напротив, изделие из нержавеющей стали длительно сохраняет свой первоначальный вид, несмотря на воздействие весьма жестоких химических реагентов.



Рис. 4. Микрофотография железного шлифа

Причина столь высокой стойкости нержавеющей стали заключается в образовании очень стойкой защитной оксидной пленки на ее поверхности. В отличие от железа и стали, не содержащей хрома, нержавеющая сталь легко возобновляет нарушенную защитную пленку даже в присутствии влаги. При этом пленка значительно прочнее удерживается на поверхности металла, будучи тоньше оксидной пленки на железе. Обнаружение такой пленки оказалось задачей значительно более трудной, чем установление наличия оксида на железе. Однако, как путем изоляции, так и методом электронного пучка пленку на нержавеющей стали все же удалось наблюдать и изучить. Точно так же были получены данные о защитных оксидных пленках на алюминии, никеле, цинке, меди и различных металлических сплавах.

Исследование структуры защитных пленок на металлах пролило свет еще на одну сторону вопроса о роли защитных пленок на металлах. Были обнаружены типичные виды связи защитной пленки с металлом, обеспечивающие значительную прочность сцепления пленки и металла, а вместе с тем и химическую стойкость металла.

Чтобы сделать более ясным дальнейшее изложение, поясним наши представления о микрорельефе металла микрофотографиями и простейшими схемами. На рис. 4 и 5 показана обычная микроскопическая картина разреза металла. Металлографы получают такие разрезы путем шлифовки, полировки и травления поверхности металла. Рис. 4 изображает микрошлиф плавленного железа, а рис. 5 относится к электролитической меди. Как видно из микрофотографий, металлическое тело состоит из отдельных частиц, плотно пригнанных друг к другу, подобно стеклянным кусочкам мозаичной картины. Но в отличие от последней, частицы в металле „пригнаны“ объемным образом, тогда как в мозаике подгонка ведется только в одной плоскости. Более детальное изучение отдельных частиц, составляющих металлическое тело, показывает, что каждая из них представляет собой маленький кристалл, построенный из закономерно расположенных атомов, стройные ряды которых образуют пространственную сетку, носящую наимено-



Рис. 5. Микрофотография электролитической меди

вание объемной к р и с т а л л и ч е с к о й р е ш е т к и. Схема такой решетки части кристаллика (элементарной ячейки) железа показана на рис. 6. Здесь приходится ограничиваться схемами, так как наблюдение отдельных атомов находится за пределами наших возможностей.

Таким образом схема, данная на рис. 6, хотя и не представляет собой изображения части кристалла железа в том виде, в каком мы могли бы наблюдать ее при соответствующем микроскопическом увеличении, однако, дает реальную картину расположения отдельных элементов вещества металла в кристаллической решетке. Относительное

расположение атомов в решетке будет различно, в зависимости от того, какой разрез кристалла или какую поверхность мы будем рассматривать. Если взять грань кристаллика кубической формы, то узор из атомов, образующих эту грань, будет состоять из

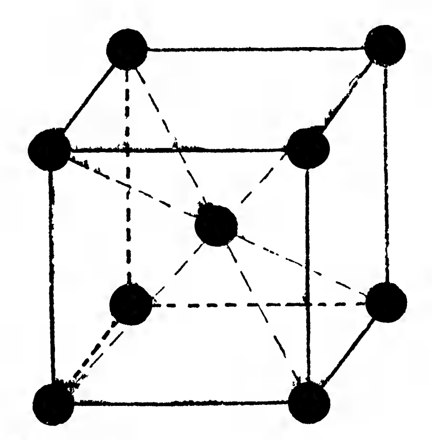


Рис. 6. Схема пространственной ячейки железа

системы квадратов (рис. 7-а); разрез того же кристаллика в диагональной плоскости будет содержать узор из прямоугольников, в узлах которых находятся атомы (рис. 7-б); разрез в плоскости, перпендикулярной одной из телесных диагоналей кубика, будет выглядеть, как узор из равносторонних треугольников (рис. 7-в). Выбранные нами разрезы, как и многие другие, могут служить для кристаллов гранями, сочетанием которых образуется простая или сложная форма кристалла. Так, например, сочетание граней, на которых атомы расположены в узлах треугольников, образует правильный восьмигранник. Куб образован гранями, на которых атомы находятся в узлах квадратов. Правильный двенадцатигранник имеет на своих поверхностях узор из атомов, расположенных в узлах прямоугольников и т. д. Огранение кристалла может быть сложным, состоящим из сочетания различных по своему строению граней. Однако вариации в огранении и сочетании различных атомных узоров на гранях нисколько не изменят внутреннего расположения частиц-атомов, образующих единую объемную комбинацию, регулярно повторяющуюся при переходе от одной части кристалла к другой.

В исследовательских лабораториях металлическое тело иногда получают в виде единого кристалла. В природе такие монокристаллы встречаются редко. Обычно металл составлен из множества мелких кристалликов (рис. 4 и 5). Схематическое изображение металлического шлифа (рис. 8-а) дает представление о возможном разнообразии атомных узоров на совокупности граней, выступающих на поверхности. Здесь показан небольшой участок металлического тела в двух разрезах. На этих картинах мы видим, как разнообразие атомных узоров (квадраты, прямоугольники, треугольники) в разрезах отдельных кристалликов, так и разнообразие положения этих узоров, наклоненных друг к другу под различными углами. Это разнообразие оказывается ограниченным, если имеет место некоторая регулярность в расположении кристалликов друг относительно друга (рис. 8-б). При рассмотрении сверху мы видим, что атомные узоры для всех кристалликов (зерен) одинаковы — а именно, представляют собой квадраты. Однако, здесь еще имеет место разнообразие положений этих квадратов друг относительно друга: углы наклона между линиями сетки различны. Если смотреть сбоку, то мы видим некоторое разнообразие в атомных узорах, но зато все кристаллики повернулись в одном направлении, именно так, что ребра кубиков параллельны друг другу. Наконец, при полном упорядочении в расположении кристалликов мы обнаруживаем (рис. 8-в) в обоих разрезах однообразие как в формах узоров, так и в положении их друг около друга. Возникшее сочетание кристаллических элементов будет представлять собой единый кристалл (монокристалл), разделенный трещинами на отдельные зерна.

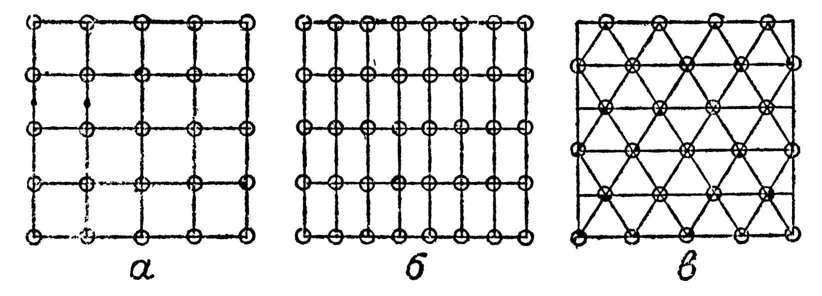


Рис. 7. а) плоская сетка квадратов, б) плоская сетка прямоугольников, в) плоская сетка треугольников

В результате соприкосновения кислорода воздуха с металлом поверхностные атомы металла вступают в химическую связь с атомами кислорода, образуя пленку оксида. Как уже было сказано, в целом ряде случаев пленка оксида имеет кристаллическое строение, т. е. сочетание атомов металла и кислорода построено с регулярной правильностью. Для железа это неоднократно устанавливалось различными исследователями. Вместе с тем обнаружилось, что возникающие кристаллики оксида правильным образом распо-

лагались по отношению к поверхностным кристаллам металла. Как пример такого правильного расположения кристалликов оксида относительно кристаллов металла, возьмем случай, когда оксид возникает на кубических гранях металлического кристалла. Схема рис. 9 характеризует возникающие

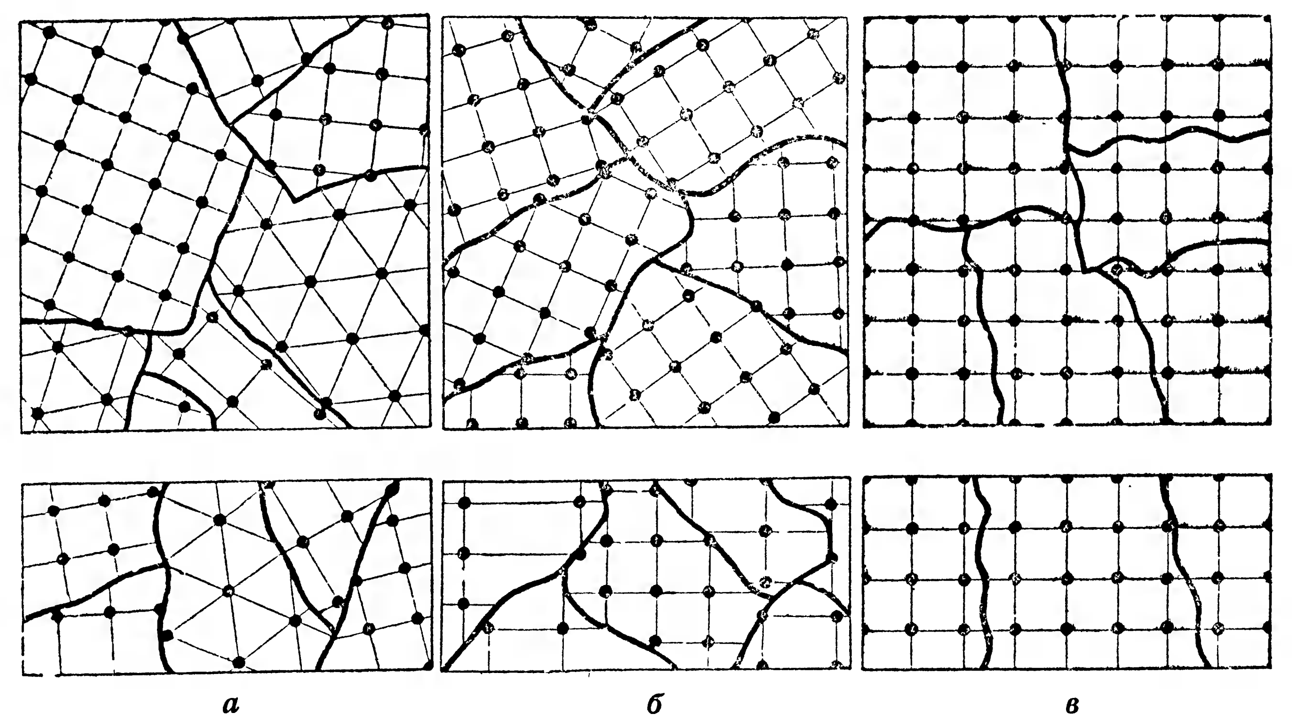


Рис. 8. *а*—схема металлического шлифа с неориентированными кристаллами, *б*—схема шлифа с ориентированными кристаллами, *в*—схема шлифа при полной ориентации кристалликов

здесь соотношения. Мы видим, что кристалл оксида имеет много общего с кристаллом металла. Расположение металлических атомов оксида друг относительно друга сходно с расположением их в металлическом кристалле; кроме того, целый ряд плоскостей кристалла оксида является продолжением плоскостей металлического кристалла; наконец, сетка (узор) атомов, находящаяся в стыке обоих кристаллов, имеет совершенно одинаковое строение. Эти атомы одинаково принадлежат как к решетке металлического кристалла, так и к решетке кристалла оксида.

Очевидно, соответствие размеров кристаллических решеток металла и оксида приводит к существованию общих для обеих решеток атомов, что обусловливает максимальную прочность связи пленки оксида с металлическим кристаллом. Наоборот, отсутствие соответствия непосредственно приводит сначала к деформации пограничных плоскостей и затем к нарушению связи оксида с металлом.

Как показывает более детальное исследование вопроса, образование соответственных форм кристаллов на поверхности исходного кристалла происходит тем легче, чем ближе по своему строению и размерам нормальные кристаллические ячейки взятых веществ. В случае резких различий в форме и размерах ячеек преимущественным направлением процесса будет такое, при котором имеет место соответствие форм и размеров узоров атомов в пограничных плоскостях. При этом различия в размерах в 2—7% является еще достаточно хорошим условием развития процесса, хотя в некоторых случаях эти различия могут достигать 15%. В рассмотренном случае перехода железа в оксид узор атомов железа в оксиде отличался по своим размерам от узора тех же атомов в плоскости куба всего лишь на 2,7%.

При рассмотрении рис. 8-а мы обращали внимание на имеющееся там разнообразие в узорах атомов, выступающих на поверхность кристалликов. Очевидно, что только отдельные поверхностные кристаллики, атомный узор которых состоит из квадратов, подвергаются окислению в согласии с описанной закономерностью. Остальные кристаллики будут находиться в менее хороших условиях. Значительно более выгодные условия для образования защитной пленки возникают в случае картины 8-б или 8-в, когда на поверхность выступают одинаковые атомные узоры квадратной формы.

Прочность связи пленки с металлом зависит также и от ее толщины, так как с

увеличением толщины напряжение деформации пограничной плоскости кристаллов оксида и металла увеличивается, и при очень малой толщине пленки связь ее с металлом может быть весьма прочной даже при отсутствии соответствия размеров решеток в указанных выше пределах.

В согласии с высказанными соображениями находится поведение различных металлов при воздействии на них кислорода, или комбинации кислорода с влагой, или различных сочетаний их с теми или иными химическими реагентами. Железо, состоящее из большого числа малых неориентированных кристалликов дает с сухим кислородом различного рода пленки оксида на кристалликах в зависимости от того, какие грани выступают на поверхность. При этом, как показывают исследования толщины пленок, на железе образуются сравнительно толстые пленки. Такие пленки, выросшие на гранях, находящихся в соответствии с определенной плоскостью оксида, будут оставаться прочными и при достаточно большой толщине. Для несоответственных граней связь пленок с металлом оказывается неустойчивой, и при воздействии более энергичных агентов в этих местах поверхности будет происходить дальнейшее разъедание (коррозия) металла и образование ржавчины. Кристаллы ржавчины не имеют соответственных с металлом плоскостей и защитного слоя не образуют.

Существенное отличие защитной пленки на нержавеющей стали от пленки на железе состоит в малой ее толщине. Кристаллические параметры металла и оксида в обоих случаях одинаковы, малая толщина пленки способствует прочности сцепления с кристалликами металла, обращенными наружу любыми гранями. В этом преимущество нержавеющей стали, обеспечивающее ей высокую стойкость против химических взаимодействий.

Следует добавить, однако, что, несмотря на сравнительно слабые защитные свойства оксидной пленки на железе, ее роль необычайно велика в общей экономии металла.

Строение поверхности других металлов (алюминий, никель) и сплавов на железной основе сходно с описанным для железа. В других случаях (цинк, медь и др.) защитные пленки отличаются своей большой толщиной, что дает возможность видеть их невооруженным глазом.

Поведение поверхности металла весьма сильно зависит от ее механической обработки, которая связана с изменениями в поверхностном слое металла. Прокатка, ковка, шлифовка, полировка металлов приводит к существенным изменениям в относительном расположении кристаллов как внутри образца, так и на его поверхности. Общим для этих видов механической обработки является приложение к образцу давящего усилия, часто сопровождающегося растяжением. Это обстоятельство приводит к тому, что при шлифовке и полировке поверхностные кристаллы металла подвергаются раздроблению и повороту их, приводящему к ориентации кристалликов. В случае ковки и прокатки эти явления затрагивают, наряду с поверхностными слоями, и весь объем. Изменения же, возникающие под влиянием шлифовки и полировки, распространяются только на поверхностный слой. Схема, изображенная на рис. 10, дает представление о строении поверхностного слоя полированного металла.

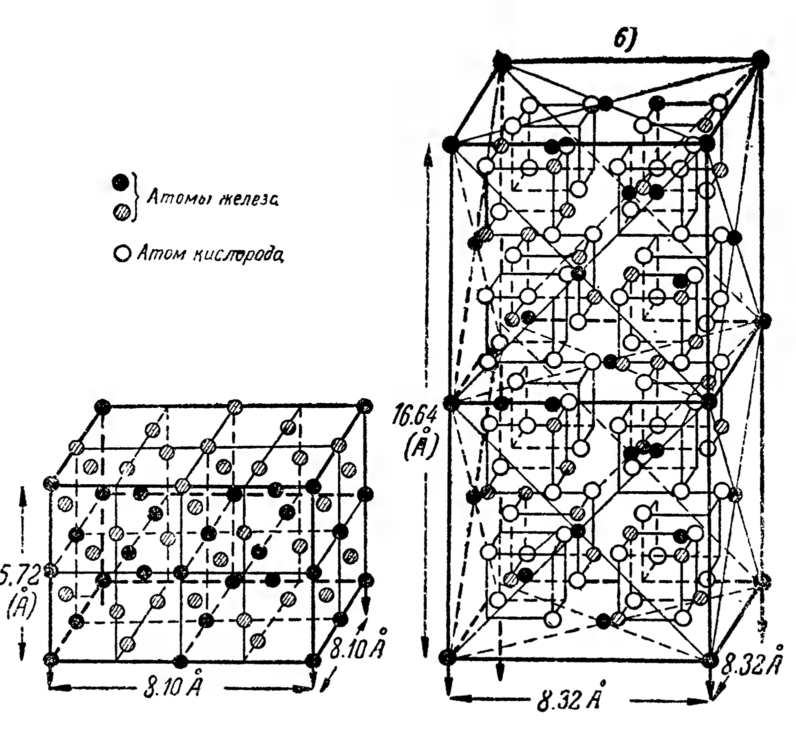


Рис. 9. Схема соответствия кристаллов железа и оксида

Здесь можно различать несколько разнородных слоев, непрерывно переходящих один в другой. Внутри объема металла находятся не подвергнутые воздействию шлифовки и полировки кристаллы; выше их расположен слой уже измельченных кристаллов, толщиной приблизительно в 1 микрон, следующий более тонкий слой (0,01 микрон) содержит

не только раздробленные кристаллики, но и много ориентированных, подобно тому, как это показано на рис. 8-б. Наконец, верхний, чрезвычайно тонкий слой (0,005 микрон) состоит из частиц настолько мелких, что электронный пучок не испытывает закономерного рассеяния и поэтому полагают, что в этом слое атомы расположены в хаотическом беспорядке или, как говорят, этот слой металла находится в „аморфном состоянии". Образование аморфного слоя связано с операцией полировки. Шлифовка, т. е. обработка мелким порошком корунда, не приводит к образованию аморфного слоя.

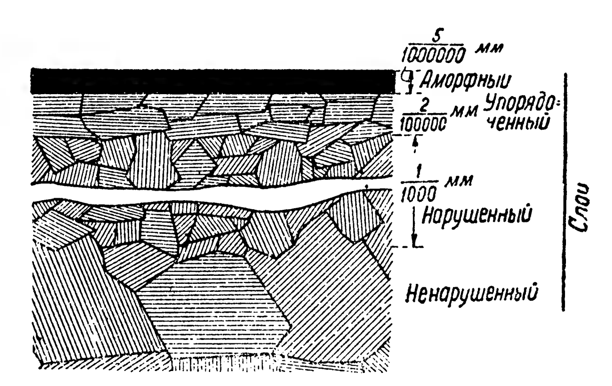


Рис. 10. Схема полированной поверхности металла

Результаты исследования последних лет указывают на то, что поверхностный аморфный слой, повидимому, состоит не только из вещества металла, но содержит, может быть, в больших количествах вещество оксидов, в случае металлов легко образующих поверхностный оксид. Это происходит, очевидно, вследствие соприкосновения металла с воздухом во время шлифовки и полировки. Своеобразие взаимодействия тонко раздробленного верхнего металлического слоя с воздухом может выразиться в том, что образующийся оксид также остается в аморфном состоянии.

Несколько иные соотношения имеют место в случае кованых и прокатанных изделий. В результате механической обработки металлические кристаллики, находящиеся как внутри, так и на поверхности, ориентируются друг относительно друга. Вместе с тем самый верхний поверхностный слой может находиться также в аморфном состоянии, которое, впрочем, при дальнейших операциях обработки металла не будет иметь места или ввиду удаления этого слоя или вследствие перекристаллизации при нагреве.

Прочнее закрепляется заданная прокаткой и ковкой ориентация кристаллов. Подобная ориентация многократно наблюдалась для железа, причем было установлено такое преимущественное расположение кристалликов, которое отвечало параллельности плоскостей (или граней) куба плоскости прокатки. Как было показано выше, именно такое положение кристалликов благоприятствует образованию оксидной пленки в состоянии соответствия, т. е. с максимальной прочностью сцепления и сравнительно высокой химической стойкостью. Большинство железных изделий подвергается операциям проковки или прокатки и, таким образом, ставится в благоприятные условия по отношению к коррозии. Однако нужно ожидать, что более тщательная механическая обработка может повысить коррозионную стойкость железных изделий.

Заканчивая краткий обзор вопроса о строении и поведении поверхности металла, следует упомянуть о тончайших металлических пленках, толщина которых близка к толщине поверхностного слоя массивного металла, описание которого мы старались дать на предыдущих страницах. Эти металлические пленки часто используются в лабораторной практике и широко применяются в производстве зеркал (при достаточной толщине подобных пленок). Они сыграли большую роль при изучении поверхностных слоев металла.

Эти пленки могут быть получены электрохимическим и химическим путем, а также путем конденсации паров металлов на холодной поверхности в освобожденном от воздуха сосуде. Последующая изоляция пленок от подкладки давала возможность изучать их с помощью электронного пучка.

Исследование подобных пленок показало, что они представляют собой агрегат очень маленьких кристалликов.

В настоящей статье нам не удалось из-за недостатка места затронуть большую группу вопросов, касающуюся поведения и строения поверхности металла в условиях высоких температур. В проблемах экономии металла эти вопросы играют громадную роль, особенно в переживаемый нами период.

Измерение толщин при помощи Рентгеновских лучей

Н. А. Добротин.

Разнообразные и важные применения рентгеновских лучей для медицинского просвечивания и терапии, для обнаружения дефектов в металлических изделиях, для исследования кристаллической структуры металлов и многих других целей пользуются широкой известностью. Гораздо менее известно, что за последние годы рентгеновские лучи стали применяться и для измерения размеров, особенно толщины металлических изделий и деталей. Появились рентгеновские толстомеры, с успехом конкурирующие в некоторых случаях с обычными механическими средствами измерения. Рентгеновские толстомеры применяются главным образом тогда, когда конструкция измеряемого предмета не позволяет производить измерения обычными средствами.

Принцип устройства рентгеновских толстомеров заключается в следующем: рентгеновские лучи при прохождении через вещество поглощаются по определенному закону. При заданном материале поглощающей детали и заданном излучении, поглощение рентгеновских лучей определяется только длиной пути пучка лучей в веществе, т. е. размерами измеряемой детали. Поэтому, измеряя поглощение определенного пучка рентгеновских лучей в данной детали, можно определить ее толщину. Таким образом, основной частью рентгеновского толстомера является установка для точного измерения интенсивности рентгеновских лучей.

Обычно интенсивность рентгеновских лучей измеряют при помощи так называемых ионизационных камер, принцип устройства которых ясен из рис. 1. Трудность этих измерений заключается в том, что ионизационные токи, возникающие в камере, обычно очень малы: они, примерно, в миллион миллионов раз слабее, чем токи, проходящие по нити обычной лампочки накаливания, горящей над вашим столом. Измерение таких слабых токов в лаборатории при помощи чувствительных приборов, называемых электрометрами, не представляет особых трудностей, но перенести эти деликатные приборы в цех и работать с ними в заводских условиях, как правило, не представляется возможным.

К счастью, в последние годы наша радиопромышленность выпустила новые типы усилительных ламп — так называемые электрометрические лампы, или плиотроны, которые позволяют усиливать слабые ионизационные токи во много миллионов раз и измерять их простыми и грубыми приборами, которые можно легко применять в любых условиях. Это и позволило физикам использовать рентгеновские лучи для измерения толщины таких деталей, проследить которые обыкновенным способом необычайно трудно.

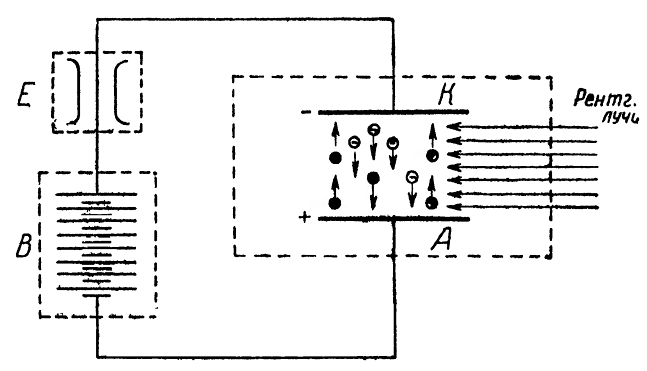


Рис. 1. Схема ионизационной камеры для измерения интенсивности рентгеновских лучей: *A* и *K*—два электрода, к которым прилагается напряжение батареи *B*. Под действием рентгеновских лучей в воздухе образуются положительные ионы и электроны, которые двигаются к соответствующим электродам. Сила возникающего таким образом иона измеряется электрометром.

Конкретная задача, которую поставила недавно промышленность перед советскими физиками, была такова: нужно с большой степенью точности проверить, имеют ли стенки шейки клапанов авиационных моторов всюду одинаковую толщину. Как говорят техники, нужно проверить, нет ли в них разностенности, превышающей допустимую величину. Трудность этой задачи заключается в том, что в трубке клапана имеется перетяжка, из-за которой почти невозможно измерять толщину стенки шейки каким-нибудь механическим нутромером.

Советские физики из Физического института и Института машиноведения Академии наук СССР решили эту задачу необычайно просто. Внутрь клапана вводится металлический стержень, играющий роль одного из электродов ионизационной камеры. Другим электродом является тело самого клапана. На клапан направляют пучок рентгеновских лучей и измеряют силу ионизационного тока, создаваемого в этой камере пучком рентгеновских лучей, прошедших через стенку клапана. Ионизационный ток предварительно усиливают, так что само измерение производится с помощью простого стрелочного гальванометра. Станем теперь поворачивать клапан вокруг его оси. Если стенка его имеет всюду одинаковую толщину, то при повороте клапана интенсивность рентгеновского пучка не будет меняться, и стрелка гальванометра останется неподвижной. При наличии же разностенности гальванометр сейчас же даст отклонение, по которому можно судить о разнице в толщине стенки в разных местах. Общий вид этой установки, работающей на одном из наших заводов, изображен на рис. 2.

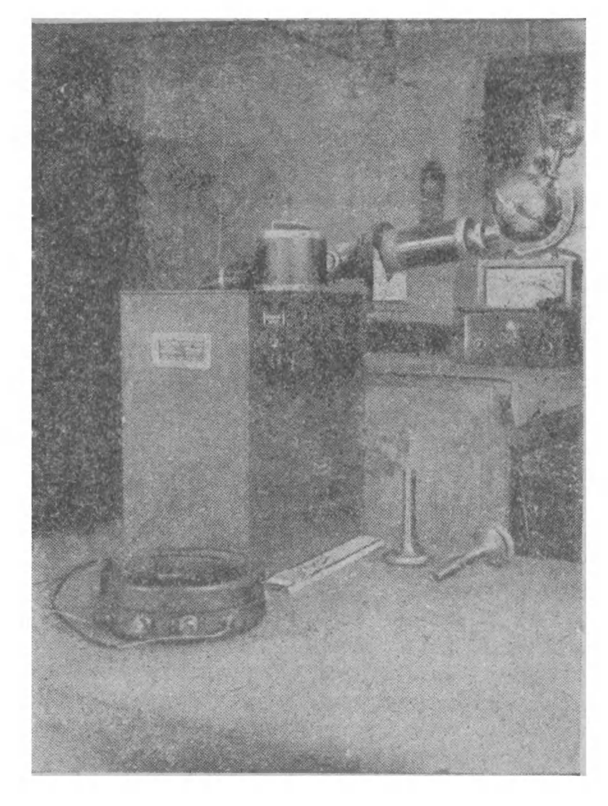


Рис. 2

Чувствительность этого прибора можно сделать настолько большой, что достаточно разницы в толщине стенок в несколько микрон, (1 микрон = 0,001 мм)- чтобы получить заметное отклонение гальванометра. Получается рентгеновский микрометр для технических лабораторий. Таким же путем можно производить измерения толщины и вообще размеров и других деталей. Несомненно, что по мере распространения портативных и удобных в обращении рентгеновских аппаратов и техники работы с ионизационными камерами описанные методы измерения толщины будут применяться все шире и шире в самых различных областях техники.

ТУМАН рассеиваемый химическим способом

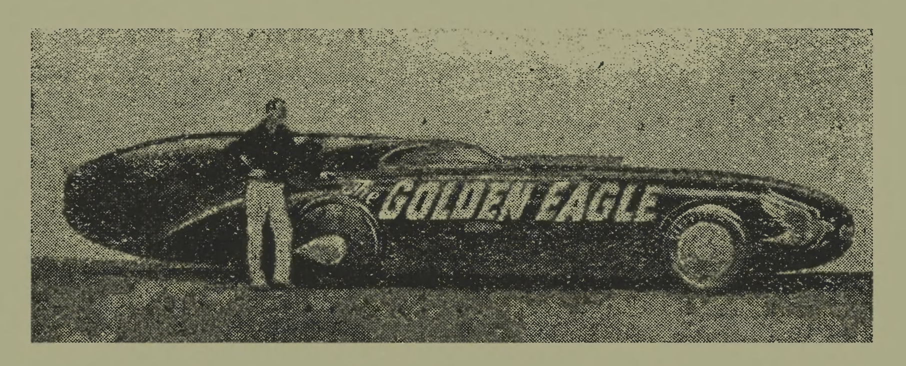
В Массачузетском технологическом институте недавно производились в больших масштабах опыты по рассеиванию тумана на аэродромах, где хорошая видимость необходима для безопасности воздушных кораблей. Густой туман высотой около 10 м, покрывавший площадь шириной в 50 м и длиной в 500 м, ученым удалось рассеять, распыляя 320 л раствора хлористой серы в минуту. Частички влаги, образующие туман, собираются распыленным составом в капли и падают на землю подобно дождю. На аэродромах, снабженных трубами и наконечниками для распыления серы, туман можно рассеивать каждый раз, когда самолет будет итти на посадку.

Военное применение этого химического способа борьбы с туманом заключается в том, что специальные самолеты смогут рассеивать туман, скрывающий важные объекты воздушной бомбардировки, и т. д.

Popular Mechanics, март 1941.

Новый американский сверхскоростной автомобиль

Побить 4 существующих рекорда скорости — такова задача, которую поставили перед собой конструкторы изображенного на рисунке автомобиля „Золотой орел" (Golden Eagle).



Предполагается, что это будет наиболее быстроходный автомобиль в мире.

На этот автомобиль будет устанавливаться 3 сменных мотора мощностью от 200 до 1200 л. с.

При испытании этот автомобиль с наиболее слабым мотором показал скорость от 280 до 320 км в час, что дает ему возможность легко побить рекорд в 243 км в час, установленный 7 лет назад Генри Гардцем и Фредом Фрамом.

С мотором в 350 л. с. эта машина должна побить существующий рекорд в 254 км в час при непрерывной 24-часовой гонке и рекорд в 237 км в час при непрерывной 48-часовой езде. Оба эти рекорда установил Дженкинс.

Наконец, 24-цилиндровый мотор воздушного охлаждения мощностью в 1200 л. с. должен дать машине скорость в 640 км в час, что позволит ей побить рекорд Джона Кобба — 571 км в час.

Машину будет вести известный американский гонщик Тэд Эллис.

Казань, ул. Баумана, 19. Дом Печати

Ответственный редактор чл.-корр. АН СССР Н. Л. Мещеряков.

ПФ 3282 Подписано к печати 21. VII. 1942 г. 5 печ. л. 5,2 уч.-изд. л.
Тираж 25 000 Заказ № 0206.

Татполиграф при НКМП ТАССР. Казань, ул. Миславского, 9. 1942 г.

Цена 3 руб.

ИЗВЕЩЕНИЕ

Возобновлено издание обзорных журналов „Успехи современной биологии" и „Успехи химии". В 1942 г. выйдут 3 книжки журнала „Успехи современной биологии" и 6 книжек — „Успехи химии".

Подписная цена:

УСПЕХИ СОВРЕМЕННОЙ БИОЛОГИИ	1/2 года	24 руб.
УСПЕХИ ХИМИИ	1/2 года	48 руб.

Подписку и деньги направляйте по адресу: Москва, Пушкинская ул., 23, Конторе „Академкнига". Расчетный счет № 150376 в Московской городской конторе Госбанка; Казань, ул. Баумана, Дом Печати, Конторе „Академкнига". Расчетный счет в Татарской республиканской конторе Госбанка № 150376.

Подписка принимается также Отделениями Конторы „Академкнига": Москва, ул. Горького, д. 6, в магазине; Ленинград, просп. Володарского, д. 53а; Ташкент, Пушкинская ул., 17; уполномоченными Конторы „Академкнига", всеми отделениями „Союзпечати" и всюду на почте.

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР.